

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA: INGENIERÍA AMBIENTAL

Tesis previa a la obtención del título de: INGENIERAS AMBIENTALES

TEMA:

**SOLMÁFORO (SEMÁFORO SOLAR): MODELO AMBIENTAL DE ALERTA
POR EXPOSICIÓN A LA RADIACIÓN SOLAR EN QUITO**

AUTORAS:

CRISTINA ELIZABETH LEMA PURUNCAJA

DIANA PATRICIA ZULETA MEDIAVILLA

DIRECTORA:

SHEILA SERRANO VINCENTI

Quito, abril de 2015

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y AUTORIZACIÓN DE USO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotras, autorizamos a la Universidad Politécnica Salesiana la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de las autoras.

Quito, abril de 2015

Cristina Elizabeth Lema Puruncaja
1724469950

Diana Patricia Zuleta Mediavilla
1721795183

DEDICATORIA

A mis padres.
Cristina Lema

A mis padres y mi hermano.
Diana Zuleta

AGRADECIMIENTO

Las autoras agradecen a la Secretaría del Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, por los datos utilizados en esta investigación a través de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito REMMAQ.

Asimismo, un agradecimiento especial al Ing. Agustín Bolaños colaborador de la Secretaría de Ambiente del Distrito Metropolitano de Quito, por su ayuda inestimable, su motivación, que han sido fundamentales en el presente trabajo, nos sentimos en deuda por todo el aporte recibido en esta investigación.

Nuestros más sinceros agradecimientos a los investigadores del Centro de Investigación en Modelamiento Ambiental CIMA: a nuestra directora de tesis, Sheila Serrano Vincenti, quien nos ha orientado y apoyado en el desarrollo de nuestra investigación con un interés y entrega únicos en el transcurso de este proyecto. Al Ing. Iván Álvarez y al Ing. Gustavo Navas quienes nos brindaron su tiempo y ayuda en la culminación de este proyecto

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1.....	3
ASPECTOS BÁSICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR.....	3
1.1 Radiación solar.....	3
1.2 Radiación solar extraterrestre.....	4
1.2.1 Constante solar	4
1.2.2 Ciclo solar.....	4
1.3 Componentes de la radiación solar terrestre	6
1.3.1 Radiación directa	6
1.3.2 Radiación difusa	6
1.3.3 Radiación reflejada.....	6
1.3.4 Radiación global.....	6
1.4 Leyes que gobiernan el comportamiento de la radiación solar	7
1.4.1 Ley de Stefan-Boltzmann.	7
1.4.2 Ley de Wien.	7
1.4.3 Ley de Kirchhoff.	8
1.4.4 Ley de Planck.	8
1.5 Irradiancia e irradiación	9
1.5.1 Irradiancia.....	9
1.5.2 Irradiación	9
1.6 La radiación solar a su paso por la atmósfera	9
1.6.1 La atmósfera	9
1.6.2 Estructura de la atmósfera	10
1.7 Solsticio y equinoccio.	12

1.7.1	Solsticio.....	12
1.7.2	Equinoccio.....	12
1.8	Efectos de la atmósfera sobre la radiación.....	13
1.8.1	Absorción.	13
1.8.2	Reflexión	13
1.8.3	Dispersión.....	13
1.9	Temperatura ambiental.....	13
1.10	Radiación global y temperatura ambiental.....	14
1.11	Condiciones que influyen en la temperatura ambiente	14
1.11.1	Factores planetarios.....	14
1.11.2	Factores geográficos.....	14
CAPÍTULO 2.....		16
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN		16
2.1	Instrumento de medición de la radiación solar global	16
2.1.1	Componentes del piranómetro.....	17
2.1.1.1	Cúpula.	17
2.1.1.2	Detector.	17
2.1.1.3	Carcasa.	18
2.1.1.4	Cartucho desecante.....	18
2.1.2	Principio de funcionamiento.	18
2.1.3	Calibración.	20
2.2	Instrumento de medición de la temperatura ambiente	20
2.2.1	Principio de funcionamiento	20
2.2.2	Calibración	21
2.3	Instrumento de medición de la radiación ultravioleta	21

2.3.1	Componentes de un radiómetro.....	22
2.3.2	Principio de funcionamiento.	23
2.3.3	Calibración.	24
CAPÍTULO 3.....		25
RADIACIÓN ULTRAVIOLETA.....		25
3.1	Radiación ultravioleta	25
3.2	Efectos sobre los seres vivos.....	26
3.2.1	Efectos positivos.....	26
3.2.2.1	Efectos biológicos de la radiación ultravioleta.....	28
3.3	Factores que influyen en los niveles de radiación UV	29
3.4	Índice UV	30
CAPÍTULO 4.....		35
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS		35
4.1	Características y viabilidad de los datos estudiados	35
4.2	Análisis de los datos a nivel horario	38
4.3	Análisis de los datos a nivel diario.....	42
4.4	Análisis de los datos a nivel mensual.....	44
4.5	Análisis de los datos a nivel anual	45
4.6	Temperatura ambiente y radiación global.....	47
4.7	Análisis de la radiación ultravioleta a través del IUUV.....	54
CAPÍTULO 5.....		57
ANÁLISIS ESPACIAL DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL: SOLMÁFORO ESPACIAL		57
5.1	Descripción del método de regionalización	57
5.2	Análisis de los valores promedios horarios.....	59

5.3	Análisis de los valores máximos horarios.....	64
5.4	Análisis de los valores promedios mensuales	68
5.5	Análisis de valores máximos mensuales	72
5.6	Análisis de los valores promedios anuales	76
5.7	Análisis de los valores máximos anuales	78
CAPÍTULO 6.....		82
GEOPORTAL DEL SOLMÁFORO DE QUITO		82
6.1	Geoportal.....	82
6.2	Geoportal de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS).....	83
6.3	Metodología para el ingreso de información espacial en el geoportal del CIMA-UPS.....	84
CONCLUSIONES.....		91
RECOMENDACIONES.....		93
LISTA DE REFERENCIAS		95
ANEXOS		98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de tipos de piel	32
Tabla 2. Niveles de alerta debido a la exposición solar y las recomendaciones a la salud según la FEPSO/IFIR	33
Tabla 3. Ubicación de las estaciones de la Red Meteorológica	35
Tabla 4. Porcentaje de datos válidos y no válidos por estación desde los años 2007 a 2014.....	36
Tabla 5. Tabla de tendencias diarias y anuales de Radiación Solar Global para las estaciones meteorológicas estudiadas.	44
Tabla 6. Radiación solar máxima horaria para cada estación meteorológica de Quito ...	47
Tabla 7. Validación de datos de Temperatura.....	48
Tabla 8. Parámetros del ajuste lineal por mínimos cuadrados de radiación global frente a T ($E=m \cdot T+a_0$) y T^4 ($E=m' \cdot T^4+ b_0$).....	51
Tabla 9. Validación de datos de IUUV	54
Tabla 10. Categoría de exposición a la Radiación Solar Global e Índice UV	59
Tabla 11. Niveles de alerta y recomendaciones	60
Tabla 12. Tonalidades en la misma gama de color para un mismo nivel de alerta, el muy alto, utilizados en la Figura 30.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro electromagnético de la radiación solar extraterrestre y en la superficie de la tierra.....	3
Figura 2. Ciclo solar	5
Figura 3. Capas de la atmósfera	11
Figura 4. Solsticio y equinoccio.....	12
Figura 5. Piranómetro utilizado por la Secretaría de Ambiente.....	16
Figura 6. Espectro de irradiancia solar en la superficie de la tierra y respuesta del piranómetro	17
Figura 7. Componentes del piranómetro	18
Figura 8. Esquema del efecto Seebeck.....	19
Figura 9. Sensor de temperatura	20
Figura 10. Sensor de radiación ultravioleta.....	21
Figura 11. Respuesta espectral del radiómetro GUV 2511	22
Figura 12. Diseño del circuito de un radiómetro.....	23
Figura 13. Absorción de la radiación UV en la atmósfera.....	26
Figura 14. Efectos por sobreexposición a la radiación solar.....	28
Figura 15. Factores que influyen en los niveles de radiación UV	30
Figura 16. Variación del IUV de acuerdo a la altitud	31
Figura 17. Gráfico comparativo entre el IUV de la OMS y el IUV de la FEPSO/IFIR ..	32
Figura 18. Curva de la radiación solar de la estación de Belisario, durante una semana del mes de mayo de 2007	37
Figura 19. Valores máximos de intensidad solar (W/m^2) en frecuencia horaria registrados por año y por estación a) Tumbaco b) Los Chillos, c) Carapungo, d) Cotocollao, e) Belisario y f) El Camal. Las estaciones están ordenadas desde la de menor altitud a la de mayor altitud.....	41
Figura 20. Valores máximos diarios registrados por año y por estación a) Tumbaco b) Los Chillos, c) Carapungo, d) Cotocollao, e) Belisario y f) El Camal. Las estaciones están ordenadas desde la de menor altitud a la de mayor altitud.	43

Figura 21. Valores máximos mensuales promediados registrados en los años estudiados (2007 – 2013) para cada estación a) Tumbaco b) Los Chillos, c) Carapungo, d) Cotocollao, e) Belisario y f) El Camal. Las estaciones están ordenadas desde la de menor altitud a la de mayor altitud.....	45
Figura 22. Valores máximos anuales registrados por estación	46
Figura 23. Diagrama de dispersión entre radiación solar global y temperatura ambiental y su ajuste por mínimos cuadrados	49
Figura 24. Diagrama de dispersión entre radiación solar global y temperatura ambiental (T^4) y su ajuste por mínimos cuadrados.....	51
Figura 25. Valores máximos mensuales de radiación solar y temperatura ambiental para los años estudiados (2011-2013) y para cada estación, las estaciones están ordenadas desde la más baja a la más alta.....	52
Figura 26. Radiación solar y temperatura ambiental (2011, 2012, 2013) de la estación de Cotocollao y Carapungo.....	53
Figura 27. Radiación solar e IUV para tres días de datos estudiados	55
Figura 28. Ubicación de las estaciones de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), utilizadas en este estudio.	57
Figura 29. Valores promedios horarios de radiación para cada hora desde las 7h00 hasta las 18h00	63
Figura 30. Valores máximos horarios de radiación para cada hora desde las 7h00 hasta las 18h00	67
Figura 31. Valores promedios mensuales	71
Figura 32. Valores máximos mensuales.....	75
Figura 33 .Valores promedios anuales	78
Figura 34. Valores máximos anuales	80
Figura 35. Geoportal del Instituto Geográfico Militar-IGM.....	82
Figura 36. Geoportal de la Universidad Politécnica Salesiana.	84
Figura 37. Creación del archivo .tiff en ArcGis.....	85
Figura 38. Archivo .tiff	85
Figura 39. Espacio de trabajo.....	86
Figura 40. Almacén de datos.....	86

Figura 41. Nuevo origen de datos	87
Figura 42. Pre visualización de capas	87
Figura 43. Capa con color en AtlasStyler	88
Figura 44 . Código XML.....	88
Figura 45. Edición de capas	89
Figura 46. Previsualización de capas con colores	89
Figura 47. Mapa en el geoportal	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Radiación global.....	6
Ecuación 2. Ley de Stefan-Boltzman.....	7
Ecuación 3. Ley de Wien	7
Ecuación 4. Ley de Kirchhoff	8
Ecuación 5. Ley de Planck	9
Ecuación 6. Efecto Seebeck	19
Ecuación 7. Principio de funcionamiento del sensor de temperatura	20
Ecuación 8. Principio de funcionamiento de un radiómetro	23
Ecuación 9. Puntos vecinos.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Eventos extremos de radiación solar en Quito: relación con el índice ultravioleta, la temperatura y cambio climático	98
---	----

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue generar un modelo que informe a la población acerca de los niveles de exposición a la radiación solar, de una manera objetiva, que no genere alarmas y que permita al ciudadano conocer las precauciones a tomar en función de dónde está ubicado y de la hora del día en la que se encuentre.

De esta manera, se realizó un análisis estadístico sobre 7 años de datos proporcionados por la (Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito) REMMAQ, tomados de 6 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de la ciudad. El análisis se realizó a nivel horario, diario, mensual y anual; y se buscó detectar la frecuencia, intensidad y posibles cambios en el comportamiento de la radiación solar; asimismo se incluye un análisis de la relación entre los niveles diarios máximos de radiación solar y temperatura ambiente máxima diaria, con el objetivo de determinar posibles implicaciones sobre el cambio climático.

Posteriormente, y acogiendo las recomendaciones de la Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO), Instituto de Física Rosario de Argentina (IFIR) y Organización Mundial de Salud (OMS), se genera un estimado entre radiación solar total y la radiación ultravioleta, sobre la cual, y debido a sus implicaciones sobre la salud, se han generado cinco tipos de alerta: verde: baja, amarilla: moderada, naranja: alta, roja: muy alta y púrpura: extrema. Con los datos logrados se genera un modelo espacial sobre ARCGIS que permite conocer los niveles de alerta a nivel geográfico en la ciudad, los cuales son presentados en un sistema de información geográfica en línea sobre un servidor web del Centro de Investigación en Modelamiento Ambiental CIMA de la Universidad Politécnica Salesiana UPS, conocido como Geoportal.

ABSTRACT

The objective of this research was to generate a model to inform the public about the levels of exposure to solar radiation, objectively, that does not generate alarms and to allow citizens to know the precautions to take depending on where it is located and the time of day in which it is located.

Thus, a statistical analysis of seven years of data from the Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), taken from six meteorological stations located along the city was performed. The analysis was performed on time and annual level, daily, monthly; and we sought to detect the frequency, intensity and possible changes in the behavior of solar radiation; also an analysis of the relationship between the daily maximum levels of solar radiation and daily maximum ambient temperature in order to determine possible implications of climate change is included.

Later, accepting the recommendations of the Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO), Instituto de Física Rosario de Argentina (IFIR) and Organización Mundial de la Salud (OMS), estimated between total solar radiation and ultraviolet radiation is generated on the which, due to its implications on health, have generated five types of alerts: green: low, yellow: moderate, orange: high, red: very high and purple: extreme.

With the data achieved a spatial model on ARCGIS that allows knowing the warning levels geographically in the city, which are presented in a geographic information system online on a web server Centro de Investigación en Modelamiento Ambiental CIMA is generated by Universidad Politécnica Salesiana UPS, known as Geoportal.

INTRODUCCIÓN

La radiación solar es un factor natural importante para la vida porque moldea el clima de la tierra e influye de manera significativa en el medio ambiente, sin embargo, una sobre exposición puede ser causante de sequías, desertificación, incendios, etc. Asimismo, una banda específica de esta radiación, conocida como radiación ultravioleta (UV) se puede convertir en un factor de riesgo para la salud ya que genera envejecimiento prematuro de la piel, aparición de arrugas, aumento de la probabilidad de padecer enfermedades relacionadas con la depresión del sistema inmunológico problemas oculares y cáncer de piel (Varo Martínez, 2006). Solo en Quito es responsable de una incidencia de 22% sobre otros tipos cáncer (SOLCA, 2010).

La presente investigación tiene como objetivo general generar un solmáforo solar para identificar las zonas geográficas con mayor incidencia en la ciudad de Quito. Para llevarlo a acabo se han establecido algunos objetivos parciales: análisis de los datos disponibles de la Red de Monitoreo de la Secretaria de Ambiente, lo que ha permitido obtener el comportamiento de la radiación global para los años de estudio (2007-2013) en la ciudad de Quito. Como un paso adelante se relacionó la temperatura ambiente con la radiación solar global con el objetivo de conocer alguna posible influencia del cambio climático sobre la ciudad. Finalmente, se geoespacializaron los datos de radiación ultravioleta en la ciudad de Quito a partir de datos de radiación global solar utilizando ARCGIS. Con todo lo anterior, los contenidos de esta investigación son los siguientes:

En el capítulo 1, 2, 3 respectivamente se revisan los conceptos básicos de radiación solar y temperatura, instrumentación y radiación ultravioleta.

A continuación, en el capítulo 4, se describe el análisis estadístico utilizado para radiación solar global, relación entre radiación solar y temperatura ambiente para los años 2011 hasta 2013. En el capítulo 5, se realiza el análisis espacial de la radiación solar global, generando el solmáforo espacial a modo de geoportal. En el capítulo 6, se

genera el geoportal del solmáforo solar de Quito. Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones del estudio.

CAPÍTULO 1

ASPECTOS BÁSICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR

1.1 Radiación solar

“Es la energía procedente del sol, que es generada por reacciones de fusión nuclear de hidrógeno que producen helio, y otros núcleos más pesados” (Badescu, 2008). Esta energía se transmite en forma de radiación electromagnética y alcanza la atmósfera terrestre en forma de espectro electromagnético con longitudes de onda que van de 0,15 μm a 4 μm aproximadamente (figura 1).

Espectro electromagnético de la radiación solar extraterrestre y en la superficie de la tierra

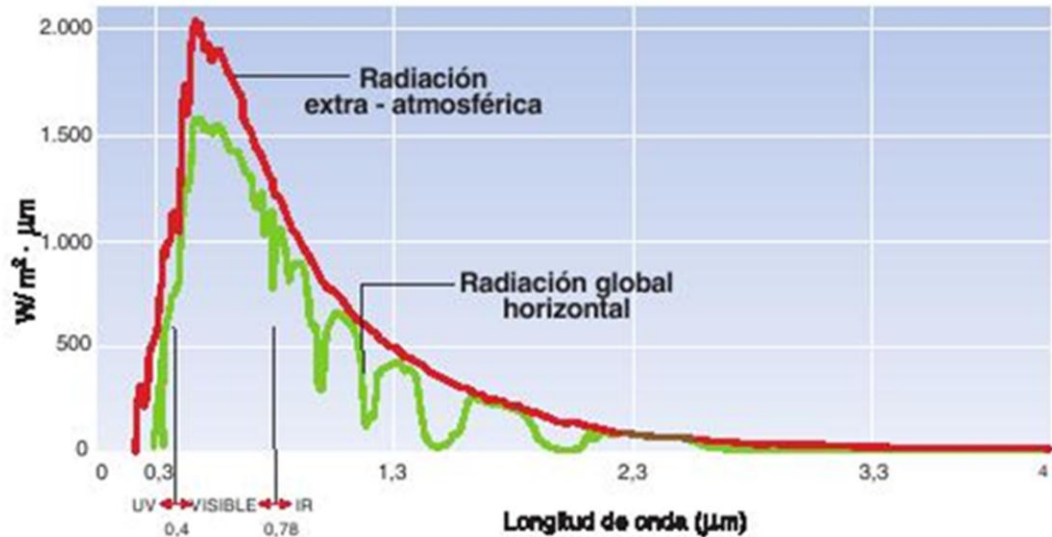


Figura 1.

Fuente: (Santamaría & Castejón, 2010)

La parte del espectro que va de 0,40 μm a 0,78 μm , forma el espectro visible que se denomina comúnmente luz. El resto del espectro, que no es visible, lo forman las radiaciones con longitudes de onda inferiores a 0,4 μm , denominadas radiaciones

ultravioletas (UV) y con longitudes superiores a $0,75\ \mu\text{m}$ denominadas radiaciones infrarrojas (IR).

1.2 Radiación solar extraterrestre

“La radiación solar extraterrestre es la radiación solar diaria que se recibe sobre una superficie horizontal situada en el límite superior de la atmósfera. Los resultados promedios de su medición por satélites arrojan un valor de $1353\ \text{W/m}^2$ ” (Almorox, 2010).

1.2.1 Constante solar

Es el promedio de la radiación solar extraterrestre por unidad de superficie perpendicular a los rayos solares y a una distancia del sol media. En realidad la constante solar no es propiamente una constante, ya que el sol tiene un ciclo en donde se dan variaciones en cuanto a la radiación emitida.

1.2.2 Ciclo solar

Es un lapso de 11 años durante el cual varía la cantidad de manchas, ráfagas y protuberancias solares, es decir todas aquellas variaciones que acontecen en el sol, lo cual ocasiona fluctuaciones en la cantidad de energía emitida y se pueden dar a dos niveles: variaciones en la luminosidad y en el viento solar o campo magnético. Ambas están interrelacionadas y tienen efectos visibles como las manchas solares.

De las manchas solares del hemisferio norte, la mancha que guía a su compañera en la dirección de rotación tiene un campo magnético en sentido opuesto al de la mancha solar dominante del hemisferio sur. Cuando comienza un nuevo ciclo de 11 años, se invierte el sentido del campo magnético de las manchas solares dominantes de cada hemisferio, lo que genera un incremento en la cantidad de radiación emitida debido a la reestructuración de su dinámica interna.

Es indudable que la temperatura media de la tierra dependa, en gran medida del flujo de radiación solar que llega, sin embargo esto no influye de manera

determinante en el clima del planeta. El sol es una estrella muy estable, por lo que su flujo se mantiene casi constante en el tiempo. El flujo de radiación es, además, el motor de los fenómenos atmosféricos ya que aporta la energía necesaria a la atmósfera para que éstos se produzcan, pero debido a que ese aporte de energía apenas si varía en el tiempo no se considera que sea una contribución importante para la variabilidad climática.

Sin embargo el sol sí influye a muy largo plazo. Se ha calculado mediante modelos numéricos que un aumento de un 1% en su brillo provocaría que la temperatura media atmosférica subiese uno o dos grados. Se sabe, además, que la luminosidad solar aumenta con el tiempo, un 10% cada 1.000 millones de años, debido a que la presión en el interior del sol también aumenta para compensar el paulatino agotamiento del hidrógeno (Guerrero, 2012). Es decir que se espera un incremento de un 1% en 100 millones de año.

Ciclo solar

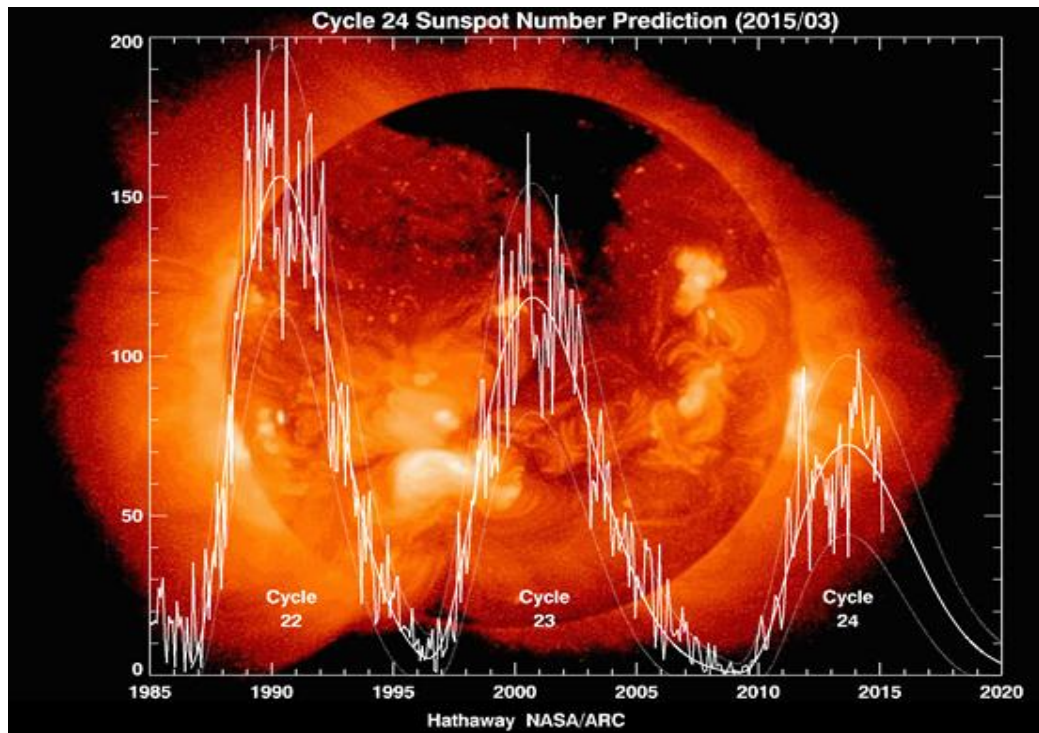


Figura 2.

Fuente: (National Aeronautics and Space Administration, 2015)

1.3 Componentes de la radiación solar terrestre

La radiación solar sobre la superficie terrestre tiene variaciones temporales, siendo unas aleatorias afectadas por la nubosidad, y otras previsibles, como son los cambios estacionales o el día y la noche, provocadas por los movimientos de la tierra.

Para facilitar su estudio, la radiación solar sobre un receptor ubicado en la tierra se clasifica en tres componentes: directa, difusa y reflejada.

1.3.1 Radiación directa.

La forman los rayos recibidos directamente del Sol.

1.3.2 Radiación difusa.

Es la radiación solar recibida en la superficie terrestre después que su dirección ha sido cambiada por la dispersión en la atmósfera.

1.3.3 Radiación reflejada.

Es la radiación incidente en la superficie que procede de la reflejada por el suelo. Aquí vale mencionar un término que va ligado a radiación reflejada y es el albedo definido como el cociente entre la radiación reflejada y la radiación incidente en la superficie de la tierra. Esta componente de la radiación solar se calcula cuando la superficie tiene alguna inclinación con respecto al suelo, de lo contrario se considera nula.

1.3.4 Radiación global.

Es la suma de todas las componentes antes mencionadas.

Ecuación 1. Radiación global

$$RG = I + D + R$$

1.4 Leyes que gobiernan el comportamiento de la radiación solar

1.4.1 Ley de Stefan-Boltzmann.

“La energía emitida por un cuerpo negro por unidad de área y por unidad de tiempo (W/m^2) es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta T (K)” (Franco, 2008).

Ecuación 2. Ley de Stefan-Boltzman

$$E = \varepsilon \cdot T^4$$

donde:

$\sigma = 4,965 \cdot 10^{-8} \text{ kcal/h.m}^2 \cdot \text{K}^4 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ es la constante de Stefan-Boltzmann.

ε = emisividad

T = temperatura del cuerpo en grados Kelvin

Y la emisividad es la relación entre la emitancia total de un cuerpo y la del cuerpo negro a la misma temperatura (T). Se simboliza por ε .

$$\varepsilon = \frac{W}{W_n}$$

La emisividad será máxima para un cuerpo negro.

Cabe indicar, que el precursor de esta ley fue Prévost, que indica que “Cualquier cuerpo cuya temperatura sea superior a 0°K emite energía radiante. Esta radiación es tanto mayor cuanto mayor sea su temperatura, siendo independiente de la naturaleza, temperatura y forma de los cuerpos que están en su entorno”.

1.4.2 Ley de Wien.

Establece la relación inversa que existe entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura. Es decir que mientras aumenta la temperatura de un cuerpo negro menor es la longitud de onda de la radiación que emite.

Ecuación 3. Ley de Wien

$$\lambda_{\text{MAX}} T = 0.0028976 \text{ [m.K]}$$

1.4.3 Ley de Kirchhoff.

La relación entre el poder emisor de un cuerpo cualquiera y el coeficiente de absorción de dicho cuerpo depende exclusivamente de la T del mismo.

Para dos cuerpos en equilibrio térmico:

Ecuación 4. Ley de Kirchhoff

$$\frac{W_1}{\alpha_1} = \frac{W_2}{\alpha_2}$$

Siendo:

W_1 y W_2 las emitancias totales.

α_1 y α_2 los coeficientes de absorción respectivos.

Aplicable a la radiación monocromática o total.

En cuerpos negros ($\alpha = 1$, máxima absorción) la emitancia será máxima. Por tanto, si uno de los cuerpos en equilibrio es un cuerpo negro:

$$W_1 = W_n = \frac{W_2}{\alpha_2}$$

$$\alpha_2 = \frac{W_2}{W_n} = \varepsilon_2$$

Siendo

W_n = emitancia total del cuerpo negro y ε_2 : emisividad del cuerpo.

$$\alpha = \varepsilon$$

“Cuando un cuerpo está en equilibrio térmico con sus alrededores, su coeficiente de absorción y su emisividad son iguales” (Ley de Kirchhoff).

1.4.4 Ley de Planck.

Describe la energía electromagnética emitida por un cuerpo negro en equilibrio térmico a una temperatura definida.

Ecuación 5. Ley de Planck

$$W_{\lambda,T} = \frac{8\pi hc \lambda^{-5}}{e^{(hc/\lambda kT)} - 1}$$

Donde:

h = constante de Planck.

c = velocidad de la luz en el vacío

k = constante de Boltzmann.

(Escamilla Canales, 2010)

1.5 Irradiancia e irradiación

Para dimensionar la radiación solar se utilizan dos magnitudes que corresponden a la potencia y a la energía de la radiación que llegan a una unidad de superficie, se denominan irradiancia e irradiación y sus definiciones y unidades son las siguientes:

1.5.1 Irradiancia.

Es la potencia o radiación incidente por unidad de superficie. Indica la intensidad de la radiación solar. Se mide en vatios por metro cuadrado (W/m²).

1.5.2 Irradiación.

Es la integración o suma de las irradiancias en un periodo de tiempo determinado, mide la cantidad de energía solar recibida durante un intervalo de tiempo. “Se mide en julios por metro cuadrado por un periodo de tiempo (J/m²) por hora, día, semana, mes, año, etc., según el caso)” (Castejón & Santamaría, 2010).

1.6 La radiación solar a su paso por la atmósfera

1.6.1 La atmósfera

Es una capa gaseosa que envuelve a la tierra, se encuentra constituida por una mezcla de gases que varían en cantidad según la presión a diversas alturas; los principales elementos que componen la atmósfera son: el nitrógeno en 78%, oxígeno 21%, y gases inertes, hidrógeno, dióxido de carbono y vapor de agua.

La atmósfera produce numerosos efectos sobre la radiación solar extraterrestre antes de que esta logre alcanzar algún punto de la superficie terrestre, la radiación se ve sometida a un proceso de atenuación que depende de la altura y posición del sol, de las variaciones de la composición de la atmósfera y de la distancia recorrida.

1.6.2 Estructura de la atmósfera

La atmósfera se encuentra conformada por varias capas concéntricas desde la superficie hacia el espacio exterior:

- **Tropósfera**

Es la capa de aire que se encuentra en contacto con la superficie terrestre, en esta capa se produce una variación vertical de la temperatura, debido a la moderación de las oscilaciones de temperatura a causa del día y la noche, y la formación de los fenómenos meteorológicos.

- **Estratósfera**

En esta capa la humedad relativa es escasa y raramente se producen nubes, aunque algunas veces se encuentran unas ligeras nubes denominadas irisadas.

- **Mesósfera**

Es una zona de transición, la presión se reduce a la milésima parte con respecto a la del nivel del mar cuando llega a los 50 km de altitud, además la temperatura desciende a -100°C en la mesopausa.

- **Termósfera**

También denominada ionósfera, en esta capa se acumulan partículas cargadas de electricidad, se desarrollan las nubes noctiluentes, se localizan las auroras polares y la temperatura crece gradualmente hasta los 1500°C a 300 km de altitud.

- Exósfera

La exósfera se considera como el límite superior de la atmósfera, y apenas existen moléculas de materia y esto permite que puedan efectuar largos recorridos, a veces de más de 100 km, sin chocar unas con otras (Varo Martínez, 2006).

Capas de la atmósfera

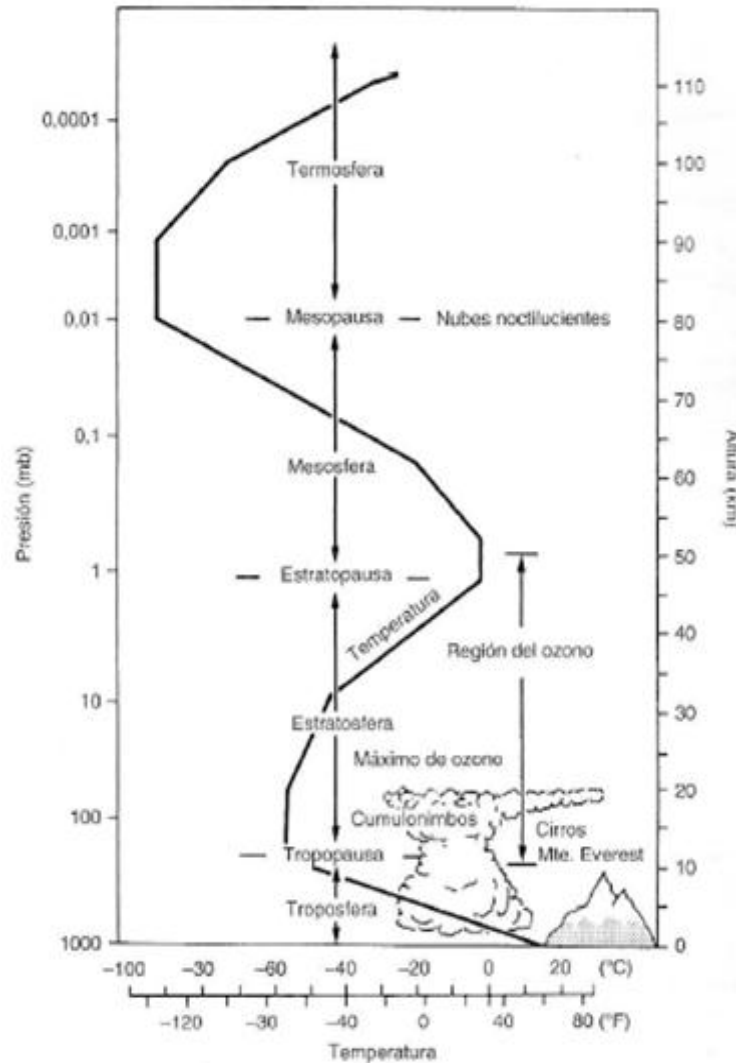


Figura 3.

Fuente: (Varo Martínez, 2006)

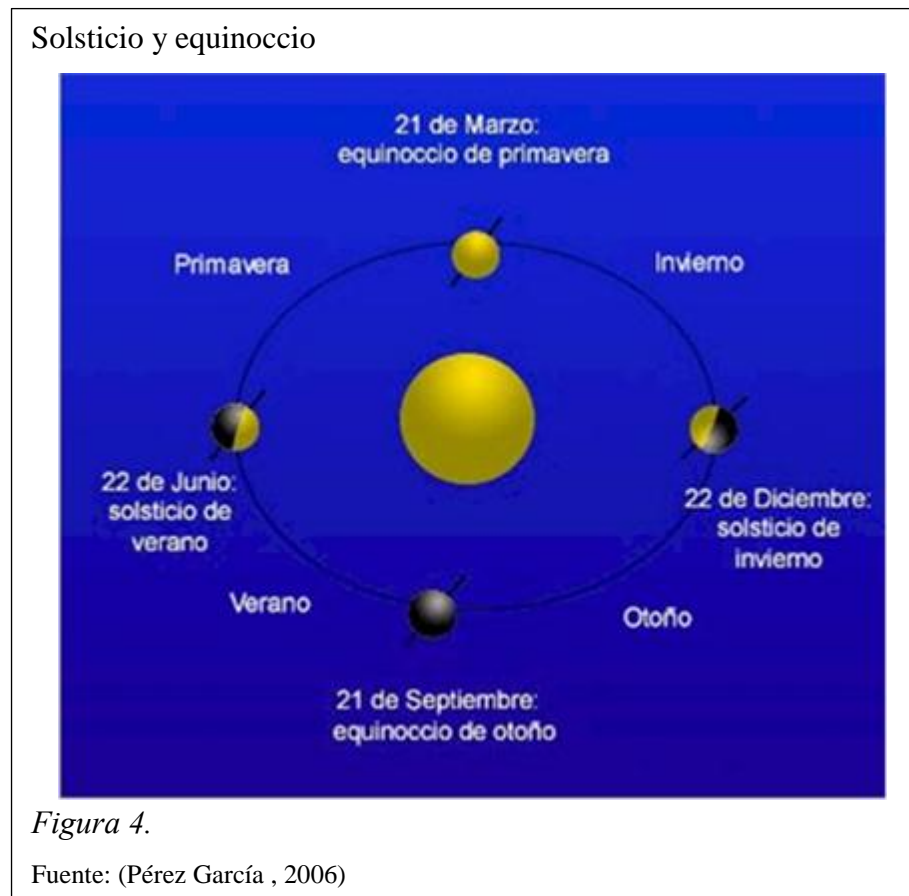
1.7 Solsticio y equinoccio.

1.7.1 *Solsticio.*

Es el momento en que el Sol se halla en uno de los dos trópicos, normalmente ocurre el 21 de junio para el trópico de cáncer (hemisferio norte) y el 21 de diciembre para el trópico de capricornio (hemisferio sur).

1.7.2 *Equinoccio.*

Es aquél instante en que los días y las noches son iguales en toda la tierra por hallarse el sol sobre el Ecuador; esto ocurre anualmente el 21 de marzo y el 22-23 de septiembre (Figura 4).



1.8 Efectos de la atmósfera sobre la radiación

La radiación solar atraviesa la atmósfera antes de llegar a la superficie terrestre y se altera por el aire, la suciedad, el vapor de agua, los aerosoles en suspensión, y otros elementos de la atmósfera. Estas alteraciones son de diferentes tipos según la propiedad óptica que se pone de manifiesto:

1.8.1 Absorción.

El flujo de radiación penetra en la atmósfera y transformada en energía térmica, aumenta su temperatura y hace irradiar calor hacia la tierra y el espacio interplanetario.

1.8.2 Reflexión.

Se produce cuando parte de la radiación solar al incidir sobre un cuerpo es desviada o devuelta, un causante son las nubes.

1.8.3 Dispersión.

“Fenómeno similar a la reflexión, pero la radiación modifica sus caracteres al ser devuelta o desviada por polvo, aerosoles, moléculas de aire y gotas de agua” (De la Casinière Chiron & Cachorro Revilla, 2008).

1.9 Temperatura ambiental

Se define temperatura ambiental como el parámetro climático que se refiere al grado de calor específico del aire en un lugar y momento determinado, así como a su evolución temporal y espacial en las distintas zonas climáticas.

A continuación se desarrollan varios conceptos derivados:

- Temperatura máxima: es la mayor temperatura atmosférica del aire alcanzada en un lugar en un día, en un mes, o en un año.
- Temperatura mínima: es aquella temperatura atmosférica menor alcanzada en un lugar en un día, en un mes o en un año.
- Temperatura media: es aquella temperatura obtenida a partir de los promedios entre la temperatura máxima y mínima.

1.10 Radiación global y temperatura ambiental

“La superficie terrestre recibe energía proveniente del sol, en forma de radiación solar emitida en onda corta. A su vez, la tierra, con su propia atmósfera, refleja alrededor del 55% de la radiación incidente y absorbe el 45% restante, convirtiendo ese porcentaje en calor” (Escudero Lopez, 2003). “La radiación solar en su conjunto atraviesa la atmósfera sin calentarla, porque el aire deja pasar fácilmente el calor, por tanto, el calentamiento de la atmosfera terrestre no es directo sino indirecto, producido a partir de los rayos infrarrojos de mayor longitud de onda que son re-emitidos por la superficie terrestre caliente” (Nahle, 2006).

1.11 Condiciones que influyen en la temperatura ambiente

1.11.1 Factores planetarios.

Variación diurna: la variación diurna influye en el cambio en la temperatura, la cual se puede notar en la temperatura existente entre el día y la noche, producida por la rotación de la tierra.

Variación estacional: la variación estacional causada por la rotación de la tierra da lugar a las cuatro estaciones: verano, otoño, invierno y primavera, además de generar un cambio notable de temperatura entre el hemisferio norte y hemisferio sur.

1.11.2 Factores geográficos.

Latitud: la temperatura es una distribución natural sobre la tierra debido a que el ángulo de incidencia de los rayos solares varía con la latitud geográfica.

Tipos de superficie terrestre: en la superficie terrestre existen diferentes tipos de suelos en cuanto a sus características: desérticos, selváticos, cubiertos de nieve, etc. Las mismas que reaccionan de diferente manera cuando los rayos solares llegan a la superficie haciendo que la temperatura sea mayor o menor dependiendo de la característica del suelo.

Corrientes de viento: el viento también modifica la temperatura de una región, en áreas donde los vientos proceden predominantemente de zonas húmedas u oceánicas, la amplitud de temperatura es habitualmente pequeña; sin embargo, se observan cambios pronunciados en la temperatura cuando los vientos prevalecientes soplan de regiones áridas, desérticas o continentales, llevando consigo nubes, ozono, o contaminantes.

Altura: la temperatura también se ve influenciada por la altitud de una región, generalmente a mayor altitud la temperatura es menor y a menor altitud la temperatura es mayor (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, 2015).

Gradiente vertical de temperatura: “al aumentar la altura la temperatura disminuye a razón de medio grado por cada 100 metros” (Font Tullot, 2007). Por esta razón, las temperaturas en Quito oscilan entre 10°C y 20°C aproximadamente en la zona urbana, y un promedio de 5°C más en la zona de los valles (Serrano et al, 2012).

CAPÍTULO 2

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

2.1 Instrumento de medición de la radiación solar global

Para medir la radiación solar global, la Secretaría de Ambiente cuenta con piranómetros tipo termopila / Clase II de marca Kipp & Zonen modelo CMP3, los cuales se encuentran a una altura entre 1 y 2 m por encima de una superficie de la ciudad de Quito.

Piranómetro



Figura 5. Piranómetro utilizado por la Secretaría de Ambiente

Fuente: (Kipp & Zonen)

El piranómetro realiza mediciones de onda corta, entre el rango espectral de 300 a 2800 nm que abarca todo el espectro visible y el ultravioleta (ver figura 6), mientras que el sensor termopila mide la irradiancia solar máxima hasta 2000 W/m², con un tiempo de respuesta de <18 segundos, y el rango de temperatura de operación desde -10°C hasta +40°C, que indica que está adaptado a las condiciones de la ciudad en de las cantidades de radiación son altas, así como la variación de la temperatura.

Espectro de irradiancia solar en la superficie de la Tierra y respuesta del piranómetro

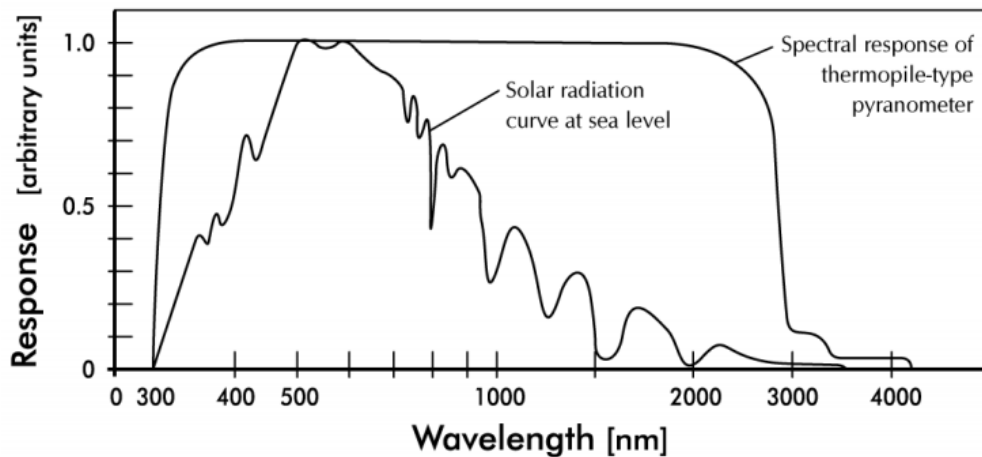


Figura 6.

Fuente: (Kipp & Zonen, 2010)

2.1.1 Componentes del piranómetro.

2.1.1.1 Cúpula.

La cúpula está construida de cristal de 4mm de grosor para proteger la termopila de influencias externas. La función de la cúpula es filtrar la radiación infrarroja y la radiación de onda corta procedente de la atmósfera.

2.1.1.2 Detector.

La termopila está constituida por un gran número de pares de unión de termopar (unión activa o caliente) y pares de unión fría (uniones de referencia), conectados eléctricamente en serie, la cual está cubierta por una pintura negra de alta absorptividad la cual define el rango de medición espectral del instrumento, generalmente atrapa entre el 97% y 98% del espectro de radiación solar.

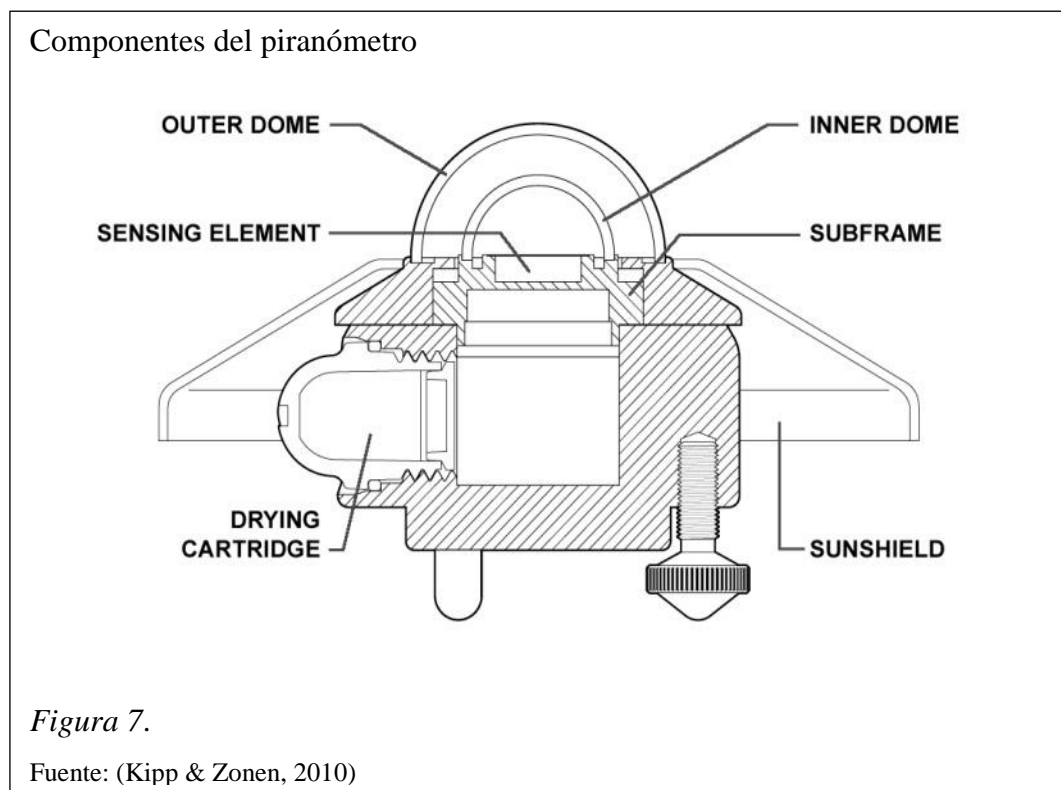
La unión activa pintada de negro constituye el detector, la cual es la parte más delicada e importante del piranómetro.

2.1.1.3 Carcasa.

Dentro de la carcasa se encuentra el nivel de burbuja ubicado cerca de la cúpula del piranómetro para facilitar su nivelación, también en la carcasa se alojan las piezas fundamentales del instrumento, como las piezas de aluminio anodizado que dan estabilidad mecánica y térmica alta al piranómetro. Además se encuentra la malla solar que sirve para reducir el calentamiento de la carcasa y proteger las piezas externas de la radiación solar.

2.1.1.4 Cartucho desecante.

El piranómetro cuenta con un desecante de gel de sílice que sirve para regular el nivel de humedad dentro del instrumento.



2.1.2 Principio de funcionamiento.

Los piranómetros se basan en el principio de funcionamiento de detección termoeléctrica o efecto Seebeck en el cual las termopilas tienen sus

uniones de referencia en contacto con bloques que habitualmente son metálicos termostatzados de gran inercia térmica, en tanto las uniones activas pintadas de negro se instalan muy aisladas de la zona de referencia y expuestas a la radiación por cual la termopila produce un voltaje de salida (flujo de corriente eléctrica) cuando la temperatura de las uniones activas es superior a las uniones de referencia dando a conocer la temperatura de referencia con lo que se puede determinar el flujo radiante (ver figura 8) (Consejo Superior de Investigaciones Científicas & Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial, 1987).

En la ecuación 6 se observa la relación entre el flujo de corriente eléctrica, E_{AB} y la diferencia de temperaturas entre las uniones ΔT define el coeficiente Seebeck (Patterson & Sobral, 2007).

Ecuación 6. Efecto Seebeck

$$\alpha_{AB} = \frac{\partial E_{AB}}{\partial T} = \alpha_A - \alpha_B$$

Esquema del efecto Seebeck

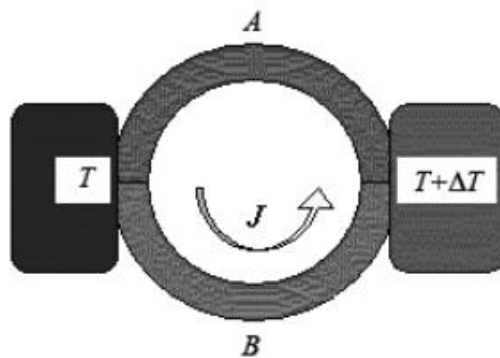


Figura 8.

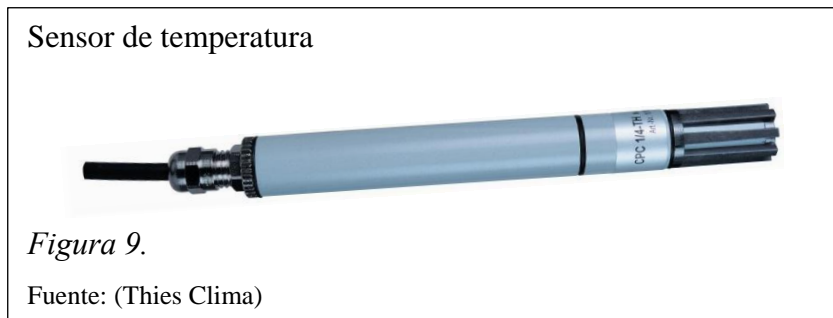
Fuente: (Patterson & Sobral, 2007)

2.1.3 Calibración.

La calibración de los equipos se lo realiza cada dos años, bajo la ISO 9847; la última calibración fue realizada en 2012 en la fábrica Kipp y Zonen. Constantemente los técnicos de la Secretaria de Ambiente dan mantenimiento a los equipos asegurándose que estén limpios y brinden información confiable.

2.2 Instrumento de medición de la temperatura ambiente

Para medir la temperatura ambiente la Secretaria de Ambiente cuenta con un sensor Pt100 Clase II de marca y modelo Thies Klima en cada estación meteorológica, instalado a 3m de altura de la superficie de la estación.



2.2.1 Principio de funcionamiento

El sensor de temperatura (hygro thermo transmitter) basa su funcionamiento en la variación de resistencia a cambios de temperaturas del medio.

El sensor consta de un arrollamiento muy fino de platino bobinado que se encuentra entre capas de material aislante y que está protegido por un revestimiento de cerámica.

El platino (conductor) posee un coeficiente de temperatura el cual determina la variación de la resistencia del conductor por cada grado que cambia su temperatura según:

Ecuación 7. Principio de funcionamiento del sensor de temperatura

$$R_t = R_o(1 + \alpha t)$$

Donde:

R_t = resistencia en Ω (ohms) a $t^\circ\text{C}$

R_0 = resistencia en Ω (ohms) a 0°C

α = coeficiente de temperatura de la resistencia cuyo valor está entre 0°C y 100°C

(Ingeco Z.S.)

2.2.2 Calibración

El equipo se encuentra calibrado bajo la ISO/IEC 17025 y sus características permanecen estables por muchos años (Índice de Calidad del Aire , 2013).

2.3 Instrumento de medición de la radiación ultravioleta

Para la medición de la radiación ultravioleta la Secretaría de Ambiente utiliza un radiómetro que se encuentra ubicado en la azotea del edificio Valderrama (Oficinas de la Secretaria de Ambiente), marca Biospherical Instruments Inc. modelo GUV-2511.

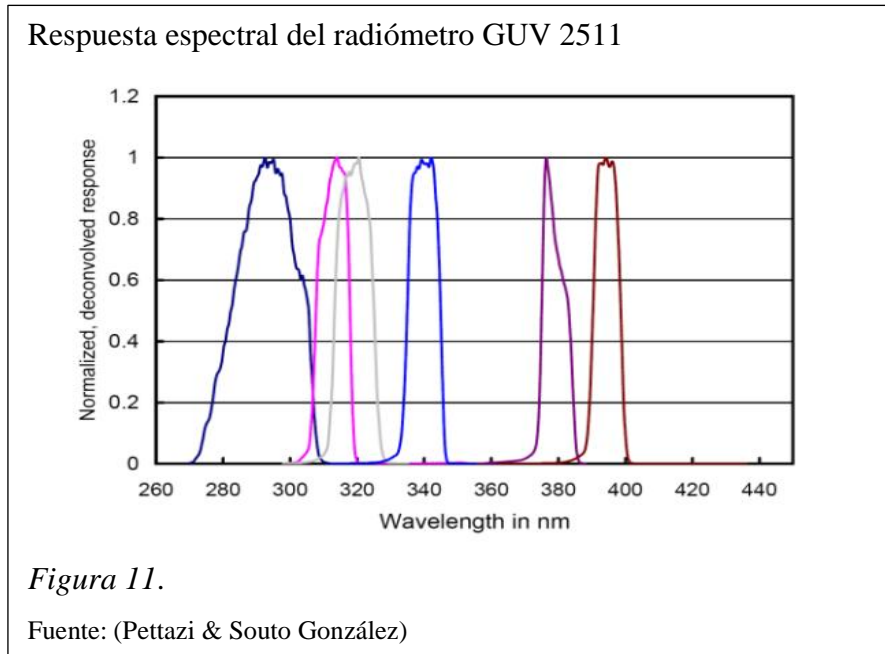
Sensor de radiación ultravioleta



Figura 10.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

El radiómetro mide 6 rangos distintos de longitud de onda de radiación UV (305, 313, 320, 340, 380, 395 nm) y un canal en el espectro visible fotosintético entre 400 nm y 700 nm.



2.3.1 Componentes de un radiómetro.

El equipo se encuentra protegido por una caja de aluminio anodizado duro y de recubrimiento especial, cuenta con un cabezal de teflón para un mejor aislamiento, el sistema está sellado por medio de juntas O-ring que evitan la entrada de humedad.

En la parte interna del radiómetro se encuentra un cilindro que se asemeja a un lápiz dentro del cual se encuentra un circuito que consta de un fotodetector, un preamplificador de alta resolución, de analógico a digital, un microprocesador y un puerto digital direccionable. (figura 12).

Además presenta un controlador de temperatura que estabiliza al equipo a 40°C o 50°C permitiendo así una mejor estabilidad óptica (colector, ventana y la pila de filtro que permite establece la longitud de onda central y ancho de banda) (Biospherical Instruments Inc., 2012).

Diseño del circuito de un radiómetro

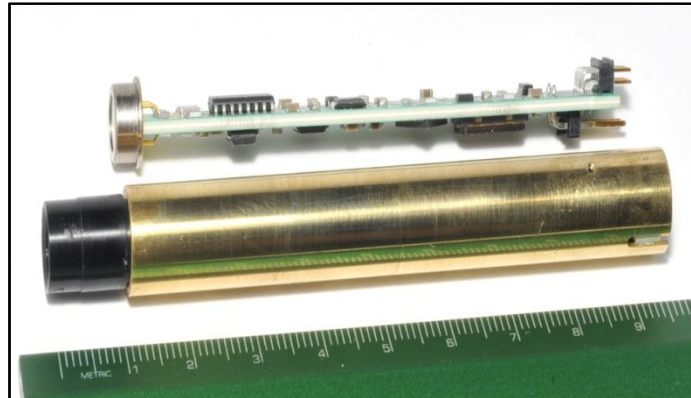


Figura 12.

Fuente: (Biospherical Instruments Inc., 2012)

2.3.2 Principio de funcionamiento.

Un radiómetro basa su funcionamiento en el hecho de que todos los cuerpos emiten radiación electromagnética por la vibración de sus átomos.

El radiómetro utiliza una antena que capta la radiación emitida por el sol (cuerpo negro), esta radiación determina la potencia de ruido térmico a partir del cual se obtiene la temperatura del cuerpo. Al tener medidas de potencia a distintas frecuencias es posible extraer el espectro de emisión del cuerpo (Miranda, Sebastián, Sierra, & Margineda, 2002).

Ecuación 8. Principio de funcionamiento de un radiómetro

$$w \triangleq \frac{\langle V^2 \rangle}{4R} = kT\Delta f$$

Donde

T= temperatura de la resistencia

k= Constante de Boltzman

Δf = el margen de frecuencias en el que funciona el circuito de frecuencias

2.3.3 Calibración.

El dispositivo se encuentra calibrado y el fabricante recomienda una calibración anual periódica. Su ubicación es a 1.5m de del suelo en una zona que no obstaculice el campo visual, estas indicaciones son asumidas completamente por la Secretaría del Ambiente (Índice de Calidad del Aire , 2013).

CAPÍTULO 3

RADIACIÓN ULTRAVIOLETA

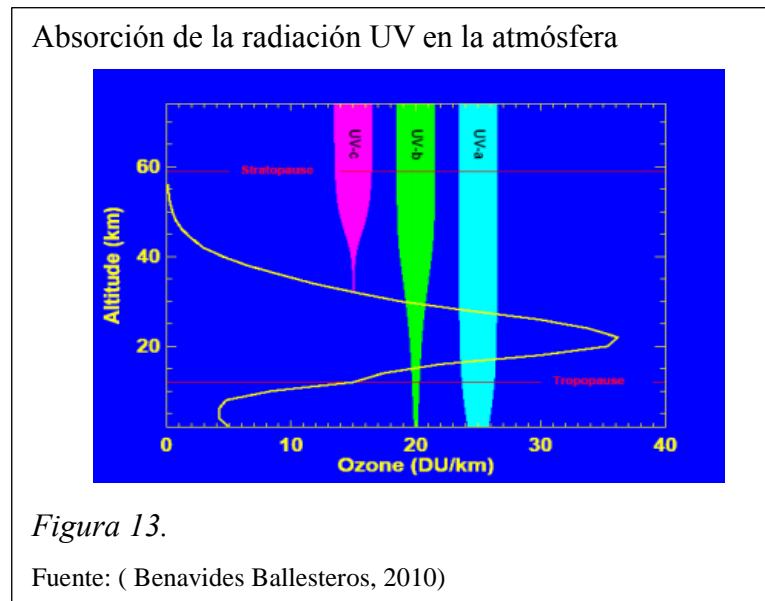
3.1 Radiación ultravioleta

La radiación ultravioleta, en adelante radiación UV, es parte del espectro electromagnético comprendido entre 100 y 400 nm. “El sol emite una gran cantidad de energía a la tierra, de la cual solo entre un 6% a 7% corresponde a la radiación ultravioleta. De esta forma la irradiancia total del espectro UV en la superficie terrestre deberá ser inferior a 103,9 W/m², valor que corresponde a un 100% de transmisión a través de la atmósfera” (Blesa, 2009).

Dados los efectos biológicos que origina, la radiación ultravioleta se suele dividir en tres bandas: UVC (100-280 nm) los rayos de esta radiación son los más dañinos de toda la gama de rayos ultravioleta porque es muy energética, pero esta radiación es absorbida por el oxígeno y el ozono en la estratosfera y nunca llega a la superficie terrestre; UVB (280-315 nm) es potencialmente dañina frente a una prolongada exposición humana afectando a la salud empezando por eritema, mutaciones de ADN de las células cutáneas que pueden derivar en cáncer de la piel, reducción de la eficiencia del sistema inmunológico, cataratas, pterigios (zona blanquecina en el borde interno y/o externo de la córnea), y rugosidades en la piel; UVA (315-400 nm) es la radiación menos dañina responsable del bronceado de la piel, pero cuando los rayos UV-A penetran en el tejido conectivo son los causantes de la inmunosupresión además de causar lesiones crónicas inducidas por la luz, como el envejecimiento prematuro de la piel y su oscurecimiento (Benavides Ballesteros, 2010).

La radiación solar viaja a través de la atmósfera terrestre antes de llegar a la superficie. Por lo tanto toda la radiación UV-C y el 90% de la radiación UV-B es absorbida por los gases presentes en la atmosfera como: el ozono, vapor de agua, oxígeno y dióxido de carbono, mientras que la radiación UV-A es débilmente absorbida. Llegando a la

superficie terrestre el 95% de la radiación UV-A y aproximadamente el 5% de la radiación UV-B. La radiación UV que alcanza la troposfera es el motor de todos los procesos fotoquímicos en las capas bajas de la atmósfera de la tierra (Benavides Ballesteros, 2010).



3.2 Efectos sobre los seres vivos

3.2.1 Efectos positivos.

Cabe indicar, que la radiación ultravioleta es indispensable para la vida, pues es catalizadora de vitaminas y de contribuir a la fijación del calcio en los huesos y en el tratamiento de ciertas enfermedades de la piel como el caso de la psoriasis y cataratas en los ojos (Pinto et al., 2000 citado en Marín Fernández, 2007). El mejor beneficio de la UVB es la síntesis en la piel de la vitamina D obtenida como pro-vitamina D a través de la dieta (Webb y Holick, 1988 citado en Marín Fernández, 2007).

3.2.2 Efectos negativos.

El efecto inmediato debido a una exposición intensa y puntual a la radiación UV se traduce generalmente en una quemadura severa. Se trata del efecto directo más común y se produce por una dilatación de los vasos sanguíneos más superficiales. Origina acaloramiento, eritema y otras molestias entre las 16 y 24 horas después de la exposición

a la luz (Diffey, 1982; Berger y Urbach, 1982 citado en Marín Fernández, 2007). “A su vez el exceso de exposición crónica a la radiación UV produce fotoenvejecimiento de la piel y una predisposición al desarrollo de condiciones cutáneas precancerígenas que han sido bien establecidas” (Diffey, 1987; Scotto y Fears, 1987; Kelfkens et al., 1990; Madronich y de Grujil, 1993 citado en Marín Fernández, 2007).

Existen tres tipos de carcinomas que vienen caracterizados por diferentes aspectos de la radiación UV: carcinoma escamoso, carcinoma basal y melanoma maligno. Los mayores factores de riesgo en el caso de carcinoma escamoso es el exceso de exposición solar acumulada en toda la vida. En cuanto al carcinoma basal, el factor determinante puede ser la exposición excesiva al sol y además desde la primera infancia. Por último en el caso de melanoma maligno los factores de riesgo mayores son episodios de exposiciones excesivas al sol que acaban en quemaduras y piel no acostumbrada, como en el caso de piel de tipo caucásico (MacKie, 2000 citado en Marín Fernández, 2007). Por su parte los efectos oculares más comunes son la fotoqueratoconjuntivitis, conocida como resplandor del soldador, las cataratas y fotoretinitis (ICNIRP, 2004 citado en Marín Fernández, 2007).

La Organización Mundial de la Salud ha estimado que cada año se desarrollan entre dos y tres millones de casos de cáncer de piel no melánico y unos 132.000 casos de melanomas malignos. Además, a escala mundial, entre 12 y 15 millones de personas padecen ceguera originada por cataratas. Hasta el 20% de las cataratas desarrolladas anualmente pueden serlo por exposición a la radiación ultravioleta, especialmente en los países del llamado “cinturón de cataratas”, la zona de mayor incidencia, cercana al ecuador (Organización Mundial de la Salud, 2003).

3.2.2.1 Efectos biológicos de la radiación ultravioleta.

La sobreexposición a la radiación ultravioleta desarrolla anomalías en la piel de los seres humanos (Ver Figura 4), a continuación se detallan los principales efectos:

Efectos inmediatos:

- Acción antirraquítica
- Acción calórica
- Pigmentación inmediata (UVA)

Efectos retardados:

- Eritema solar (UVA-UVB)
- Engrosamiento del estrato córneo
- Bronceado o pigmentación retardada (UVB)

Efectos a largo plazo:

- Envejecimiento actínico
- Fotodermatosis y patologías fotosensibles
- Cáncer de Piel



3.3 Factores que influyen en los niveles de radiación UV

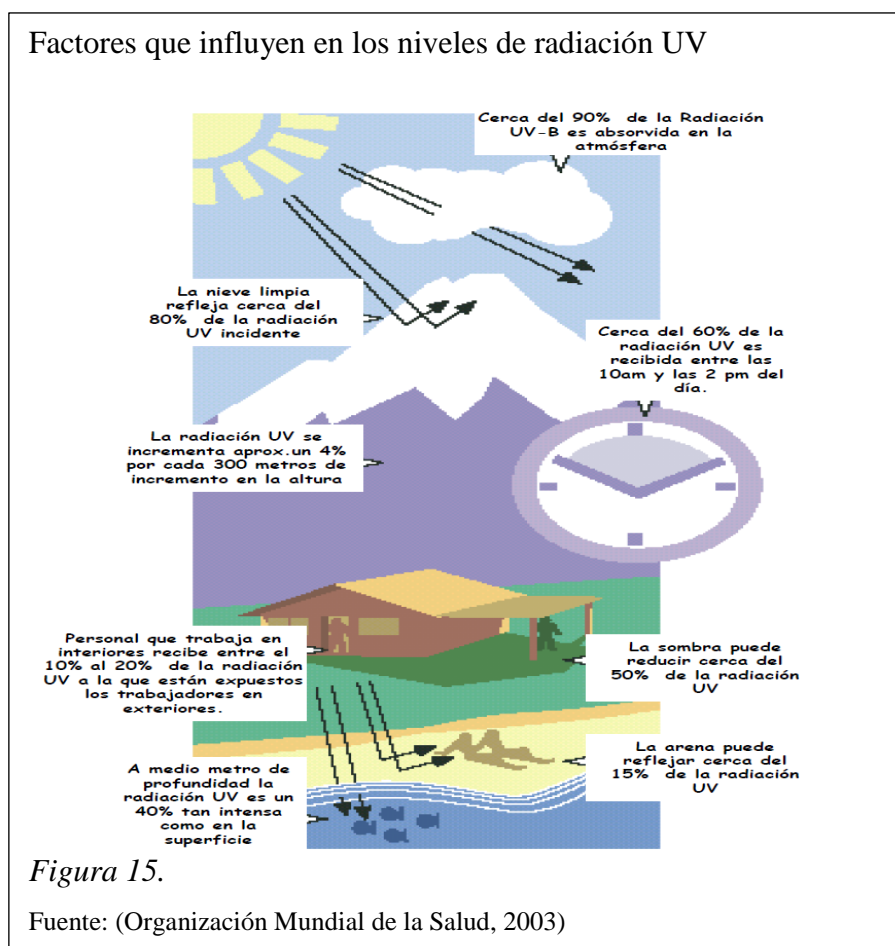
Varios factores influyen en los niveles de radiación UV que llegan a la superficie como son: la posición del sol, la altitud, el cubrimiento de las nubes, la cantidad de ozono en la atmosfera y la reflexión terrestre. Los niveles de radiación UV varían durante el día a lo largo del año, presentándose los mayores niveles en el día cuando el Sol se encuentra en su máxima elevación, evento que sucede entre las 10am y 2 pm. Cerca del 60% de la radiación es recibida en estas horas.

La radiación UV varía de acuerdo con la ubicación geográfica; sobre la zona ecuatorial los rayos solares caen más directamente que en las latitudes medias y la radiación UV resulta ser más intensa en esa área. La altitud también determina la cantidad de radiación UV que se recibe, debido a que en zonas de alta montaña el aire es más limpio y delgada la capa atmosférica que deben recorrer los rayos solares, de manera que a mayor altura mayor radiación UV. “En promedio por cada 1000 metros de incremento de la altitud, la radiación ultravioleta aumenta entre un 10% y 12%” (Organización Mundial de la Salud, 2003).

Las nubes pueden tener un impacto importante en la cantidad de radiación UV que llega a la superficie terrestre, siendo que las nubes densas bloquean más UV que una nube delgada (ver figura 15). La cobertura nubosa afecta la cantidad de radiación UV que llega a la superficie terrestre, porque las gotas de agua y los cristales de hielo, actúan como excelentes difusores de radiación UV, mediante el fenómeno conocido como difusión Mie. La contaminación trabaja en forma similar que las nubes, la contaminación urbana reduce la cantidad de radiación UV que llega a la superficie de la tierra (Benavides Ballesteros, 2010).

“La radiación UV reflejada puede producir los mismos efectos que la radiación UV que llega a la superficie de la Tierra. La nieve es la superficie que más refleja radiación UV, alcanzando hasta un 80%, mientras que el concreto refleja hasta un 12%, la arena seca de playa el 15% y el agua de mar el 25%” (Organización Mundial de la Salud, 2003).

El nivel de radiación UV que llega a la superficie de un lugar, está inversamente relacionada con la cantidad de ozono total en la atmósfera (especialmente en la región entre los 18 y los 40 km de altura, denominada capa de ozono): a menor cantidad de ozono mayor radiación UV ingresa a la superficie. Por ello, las mayores cantidades de radiación UV se reciben en aquellas regiones donde su contenido de ozono es menor, tal como ocurre en la Antártica, en las áreas que están bajo la influencia del agujero de ozono.



3.4 Índice UV

El Índice UV (IUV) es una medida adimensional que tiene como finalidad informar y concienciar a la opinión pública, mediante su divulgación en medios de comunicación, del nivel de radiación solar ultravioleta eritemática incidente y de los posibles efectos nocivos para la salud.

Este índice oscila en una escala de 0 a 11 según la Organización Mundial de la Salud (OMS), y de 0 a 16 según la Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO) y el Instituto de Física Rosario de Argentina (IFIR), esta discrepancia se pone a consideración de la comunidad científica debido a que el IUV según lo recomendado por la OMS no se adapta adecuadamente a la zonas andinas y a las regiones tropicales. La razón es porque no se puede comparar el tipo de piel (tipo II) de una persona que vive en el hemisferio norte con otra persona que vive en las zonas tropicales (con tipo de piel de III a V) como se indica en la Tabla 1. Por ejemplo, estudios realizados en América del Sur indican que los niveles de IUV en esta región son normalmente más altos que 11, el límite que la OMS estableció como "extremo" (ver figura 17). Además, los niveles de IUV fueron superiores en la mitad del año a la hora del medio día, por ejemplo “en Sao Paulo, en enero de 2006, el 71% de los días tenían valores superiores a 11 y, en consecuencia, si los criterios de la OMS fueran aprobados, la mayoría de los días del mes se deberían considerar "extremos" en países de América del Sur” (Correa y Ceballos, 2007) citado por (Correa et al., 2007). En la figura 16. se puede observar la variación de los valores de IUV de acuerdo a la altitud.

Variación del IUV de acuerdo a la altitud

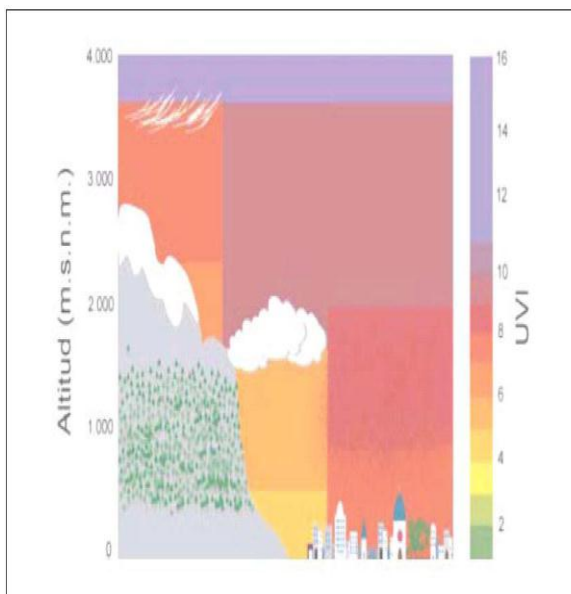


Figura 16.

Fuente: (Benavides Ballesteros, 2010)

Tabla 1.

Clasificación de tipos de piel

FOTOTIPO CUTÁNEO		SE QUEMA TRAS LA EXPOSICIÓN AL SOL	SE BRONCEA TRAS LA EXPOSICIÓN AL SOL
I.	Deficiente en melanina	Siempre	Raramente
II.		Habitualmente	Algunas veces
III.	Con melanina suficiente	Algunas veces	Habitualmente
IV.		Raramente	Siempre
V.	Con protección melánica	Piel morena natural	
VI.		Piel negra natural	

Nota: (Organización Mundial de la Salud, 2003)

Gráfico comparativo entre el IUV de la OMS y el IUV de la FEPSo/IFIR

INDICE	WHO/WMO		INDICE	PROPUESTA IFIR/FEPSo
1-2	BAJO		1-3	MUY BAJO
3-5	MODERADO		4-5	BAJO
6-7	ALTO		6-7	MODERADO
8-10	MUY ALTO		8-10	ALTO
11 +	EXTREMAD ALTO		10-15	MUY ALTO
			16 +	EXTREMO

Figura 17.

Fuente: (Laboratorio de Física de la Atmósfera, 2012)

Tabla 2.

Niveles de alerta debido a la exposición solar y las recomendaciones a la salud según la FEPSO/IFIR

INDICE UV	CALIFICACION	EXPOSICION SIN PROTECCION EN ECUADOR PRINCIPALMENTE ENTRE LAS 9 Y LAS 15 HORAS	PROTECCION
1-3	MUY BAJO	- Piel blanca debe reducir la exposición al sol a no mas de 1 hora - Piel Trigueña, el tiempo de enrojecimiento y eventual quemadura de la piel es de 4 horas de exposición al Sol	
4-5	BAJO	- Piel blanca, el tiempo de enrojecimiento y eventual quemadura de la piel es de 20 minutos y para la piel trigueña es de 1 hora.	
6-7	MODERADO	- Piel blanca, el tiempo de enrojecimiento y eventual quemadura de la piel es de 15 minutos y para la piel trigueña es de 30 minutos.	
8-10	ALTO	- Piel blanca, el tiempo de enrojecimiento y eventual quemadura de la piel es de 10 minutos y para la piel trigueña es de 24 minutos. - Evitar horas de intenso sol en sitios que reflejan como montañas nevadas, agua, cemento, etc	
11-15	MUY ALTO	- Piel blanca, el tiempo de enrojecimiento y eventual quemadura de la piel es de 5 minutos y para la piel trigueña es de 15 minutos. - Evitar horas de intenso sol en sitios que reflejan como montañas nevadas, agua, cemento, etc	
16 o más	EXTREMO	- Piel blanca, el tiempo de enrojecimiento y eventual quemadura de la piel es de sólo unos minutos de exposición al Sol y para la piel más oscura de 10 minutos - Evitar horas de intenso sol en sitios que reflejan como montañas nevadas, agua, cemento, etc	

Nota: (Laboratorio de Física de la Atmósfera, 2012)

En la tabla 2, se puede apreciar las recomendaciones que deben tomar los ciudadanos al momento de exponerse a la luz solar, es importante conocer sobre las cremas solares y el factor de protección.

El ingrediente principal de las cremas solares son los filtros, que bloquean a los rayos UVB y actualmente a los rayos UVA. Existen filtros químicos, que absorben la radiación UV y filtros físicos que reflejan o dispersan las radiaciones.

Varias veces en las cremas solares se encuentra el termino de factor de proteccion solar (FPS) el cual tiene como funcion hacer que la crema tenga mas o menos capacidad para absorber radiaciones UV.

El factor de protección solar (FPS), que señala el tiempo que puede estar una persona expuesta sin quemarse y varía dependiendo del tipo de piel recomendado para las pieles más claras oscila entre 30 y 50, que filtra entre el 96% y el 98% de la radiación UVB; además se debe utilizar cremas que protejan de la radiación UVA. Esta última se mide en cruces (tres es la máxima protección) o aparece expresada en palabras: alta y

muy alta son las aconsejadas. Por último, se debe verificar que sean resistentes al agua y al sudor.

Aunque hay bloqueadores cuyos FPS llegan hasta 100, lo cierto es que 50 es la escala máxima (indica protección total). También se debe usar los protectores solares 30 minutos antes de la exposición solar y reaplicar cada 2 a 4 horas aunque diga que es a prueba de agua (Benavides Ballesteros, 2010).

Es importante mencionar que en áreas urbanas se producen concentraciones importantes de gases contaminantes a nivel de la atmósfera baja, entre ellos: ozono troposférico, dióxido de azufre y dióxido de nitrógeno, mismos que absorben radiación ultravioleta. El aumento de concentración de estos gases lleva a una disminución de la intensidad de radiación ultravioleta, a pesar del debilitamiento de la capa de ozono estratosférico (Instituto Meteorológico Nacional, 2009).

Lo antes mencionado, ha conducido a diferentes organismos de carácter mundial a formular el Índice Solar Mundial (IUV). “Los organismos encargados de elaborar este índice, fueron: la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), la Comisión Internacional sobre Protección contra la Radiación no Ionizante (ICNIRP) y la Oficina Federal para la Protección contra la Radiación” (Salazar , 2010), recientemente la Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO) y el Instituto de Física Rosario de Argentina (IFIR) formularon el IUV para países tropicales.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

4.1 Características y viabilidad de los datos estudiados

Los datos utilizados de radiación solar provienen de la Red Meteorológica (REMET) de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ) que reporta datos de calidad del aire, la red está formada por seis estaciones (tabla 3) que miden la radiación solar global en W/m^2 . Los datos de radiación solar que publica la Secretaria de Ambiente son provistos por el equipo detector tipo termopila / clase II de marca Kipp & Zonen modelo CM 3, datos que son públicos y accesibles en la página web de la Secretaria de Ambiente <http://www.quitoambiente.gob.ec/>.

Tabla 3.

Ubicación de las estaciones de la Red Meteorológica

Estación	Dirección	Latitud	Longitud	Altura (msnm)
Tumbaco	Terraza de Andinatel (Gaspar de Carvajal)	0°12'36" S	78°24'00" W	2331
Los Chillos	Terraza de Andinatel (Av. Ilaló, Vía a El Tingo)	0°18'00" S	78°27'36" W	2453
Carapungo	Carapungo, Super manzana B, el Verjel S/N, edificio Andinatel.	0°5'54" S	78°26'50" W	2660
Cotocollao	Cotocollao, Santa Teresa # 70-121 entre Ignacio Loyola y Alfonso del Hierro	0°6'28" S	78°29'50" W	2793
Belisario	Terraza del Edificio Administrativo del Colegio San Gabriel (Av. América 3541)	0°10'48" S	78°29'24" W	2835
El Camal	Terraza del Hosp. Patronato Municipal San José Sur (Adrián Navarro 1660 e Hinostroza)	0°15'00" S	78°30'36" W	2840

Nota: (REMMAQ, 2013).

Los datos analizados para el proyecto fueron desde el año 2007 a 2013 con una resolución temporal de 1 minuto, asimismo, se cuenta con el promedio logrado cada diez minutos, hasta conseguir promedios horarios.

Los datos estudiados tienen una frecuencia horaria (un dato cada hora). Para realizar el estudio estadístico se contó con al menos un 75% de los datos para evitar sesgos por datos nulos debido a fallas en los equipos, apagones u otros incidentes que afectarían en el correcto análisis e interpretación de las series temporales.

El porcentaje de datos de radiación solar disponibles para el estudio por estación se presenta en la tabla 4, que muestra el número de válidos y nulos. Se puede apreciar, los datos válidos de todas estaciones superan el mínimo requerido, la estación con menos datos válidos es la de Tumbaco que presenta el 93.66%, mientras que la estación con mayor número de datos válidos, es Carapungo con 97,82%.

Tabla 4.

Porcentaje de datos válidos y no válidos por estación desde los años 2007 a 2014

ESTACIÓN	DATOS VALIDOS	DATOS NO VÁLIDOS	DATOS TOTALES	PORCENTAJE DATOS VÁLIDOS
Belisario	33664	773	34437	97,76
Carapungo	33686	751	34437	97,82
Cotocollao	33479	958	34437	97,22
El camal	33548	890	34438	97,42
Los chillos	33634	803	34437	97,67
Tumbaco	32256	2181	34437	93,67

Nota: (REMMAQ, 2013).

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

De la misma manera, cabe indicar que los datos disponibles cuentan ya con una homogenización y control de calidad previo, brindado por la Secretaría del Ambiente del Municipio de Quito.

La radiación global tiene un comportamiento periódico. En la figura 18, se muestra un ejemplo de este comportamiento. Como se puede apreciar, existen grandes variaciones durante el día que se determinan entre las 7h00 y las 19h00 y lógicamente fuera de este rango los valores son cero, ya que corresponden a la noche, período en el que no se registra radiación alguna, exceptuando pocos casos en los que aparece radiación residual debido a luces intensas se pudieron haber afectado a la estación. Es por esto que un segundo control de calidad y filtro de los datos se realizó, estudiándose sólo los valores correspondientes al día.

Cabe indicar, que los valores horarios de radiación solar global detectados por las estaciones meteorológicas se calculan a partir de los promedios de 10 minutos. Igual aplica el criterio de validez del 75%, que significa que si hay menos de 5 muestras en la hora, se invalida el dato de la hora (dato horario). Además, se aprecia que los valores más altos se dan entre las 11h00 y las 13h00 alcanzando valores cercanos a los 1000 W/m^2 y en varias ocasiones (no mostrado) ese valor es superado.

Curva de la radiación solar de la estación de Belisario, durante una semana del mes de mayo de 2007

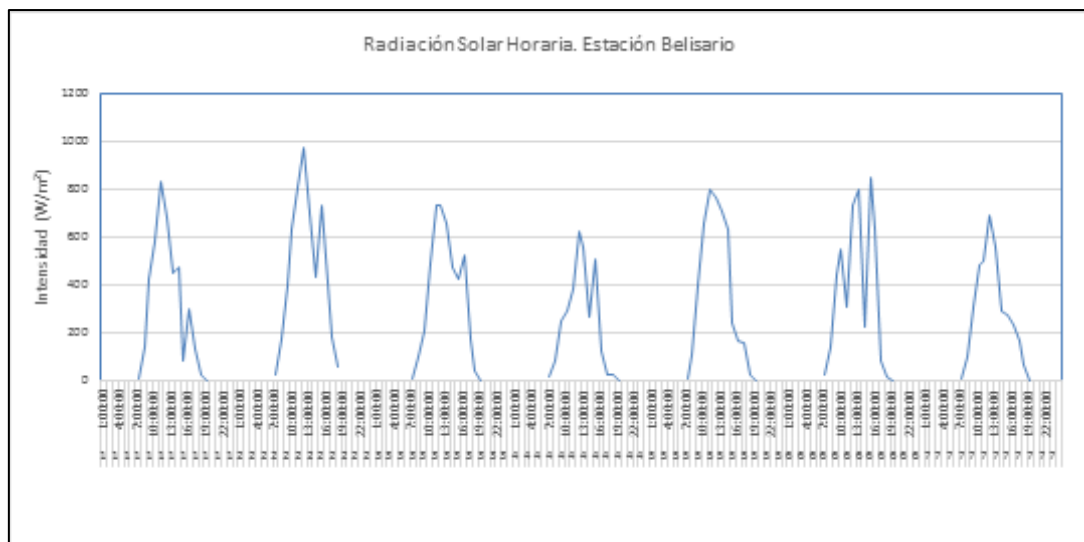


Figura 18.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

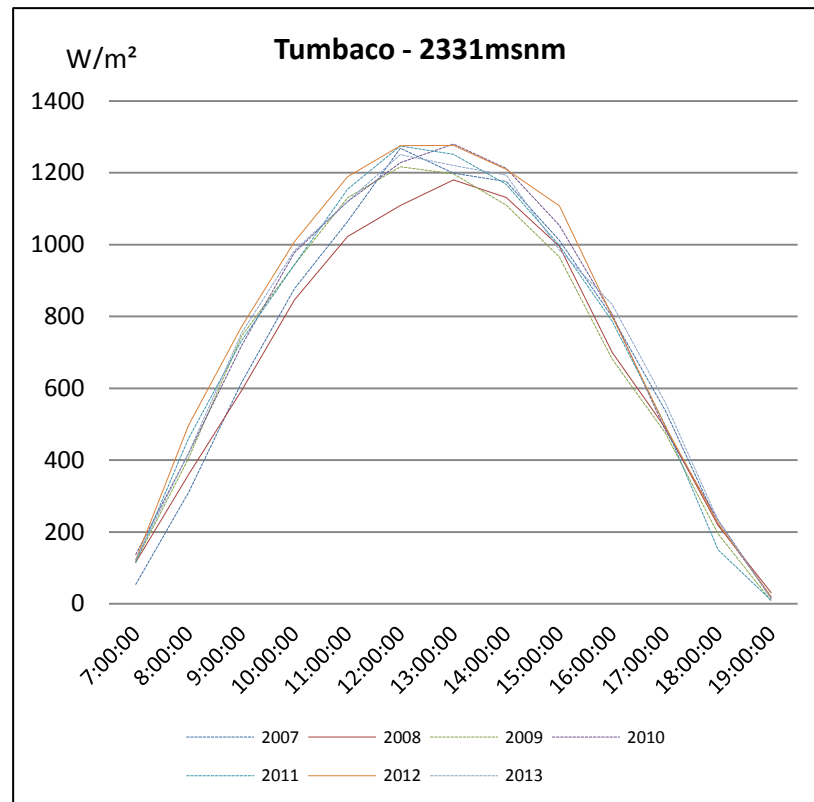
De esta manera, por la variabilidad de los datos, y la importancia para la salud que tienen los valores altos de radiación solar, el presente estudio se centrará en el análisis de los valores máximos, realizando un análisis a nivel horario, diario, mensual y anual.

4.2 Análisis de los datos a nivel horario

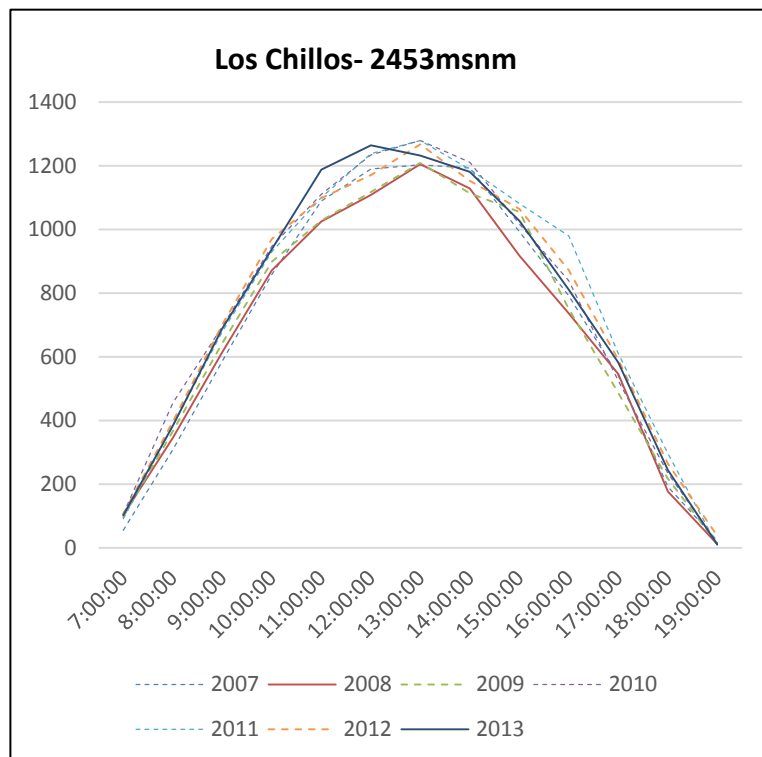
El perfil horario de la radiación solar máxima diaria en cada año tiene un comportamiento semisinusoidal, en todas las estaciones estudiadas, tal como se aprecia en la figura 19.

Valores máximos de intensidad solar (W/m^2) en frecuencia horaria registrados por año y por estación a) Tumbaco b) Los Chillos, c) Carapungo, d) Cotocollao, e) Belisario y f) El Camal. Las estaciones están ordenadas desde la de menor altitud a la de mayor altitud.

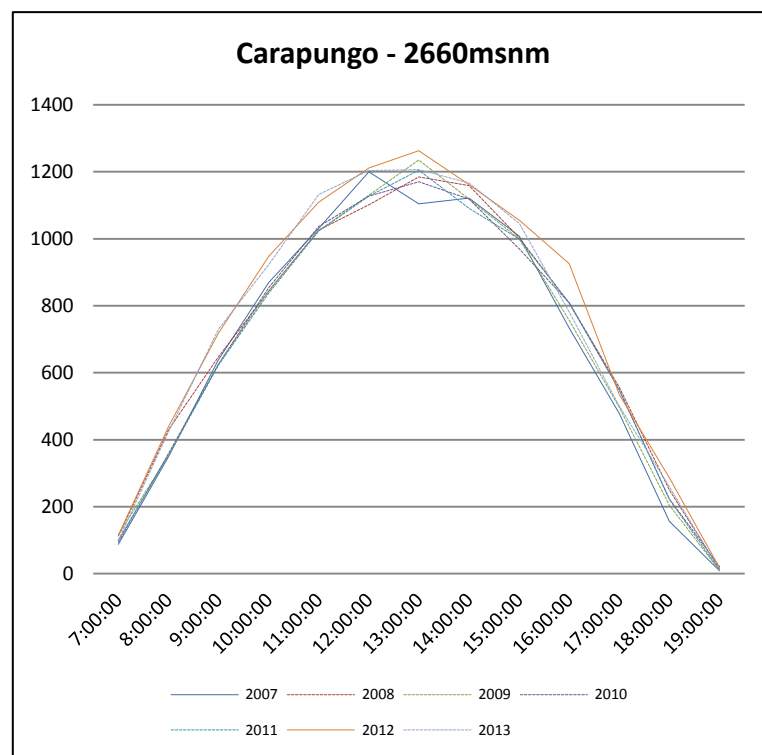
a)



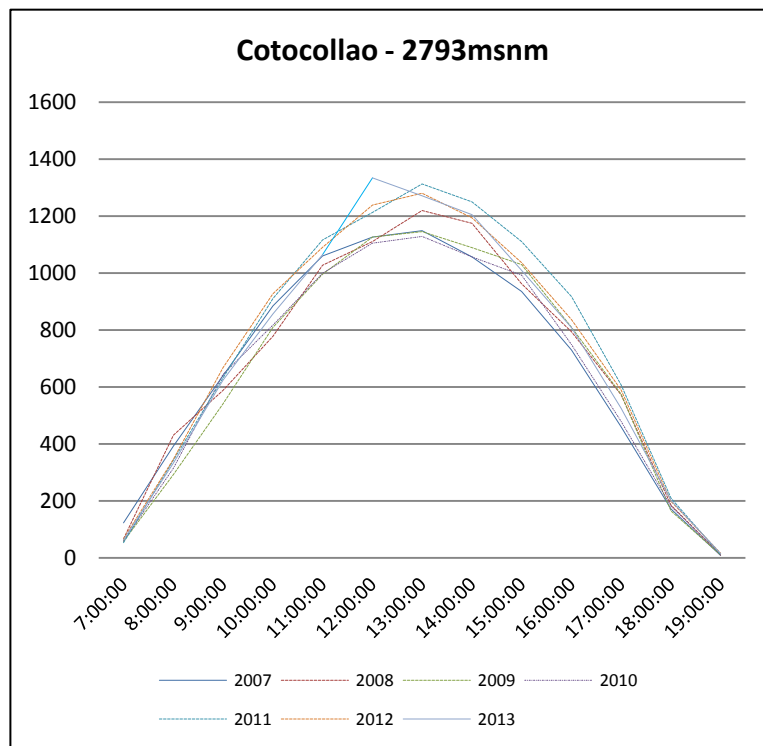
b)



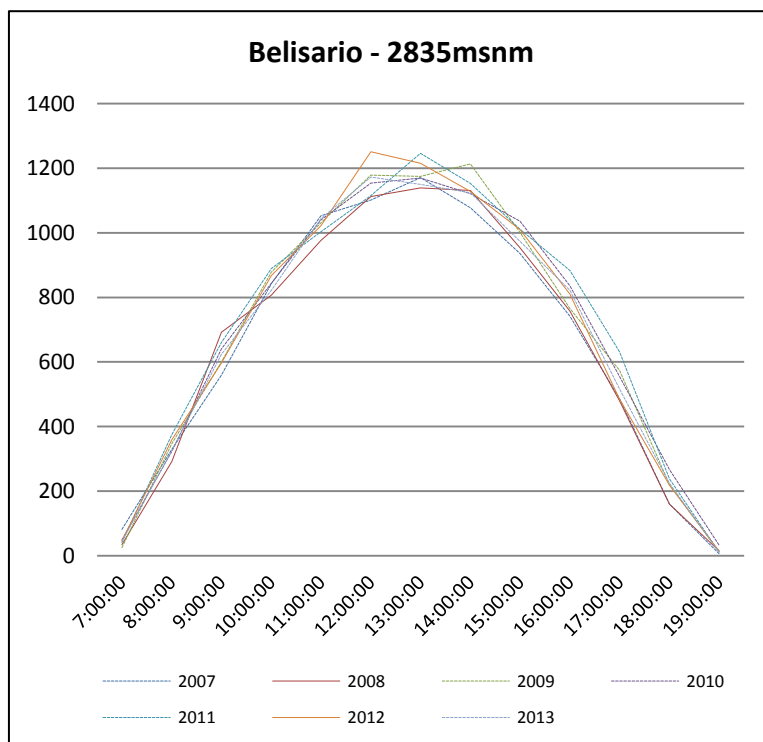
c)



d)



e)



f)

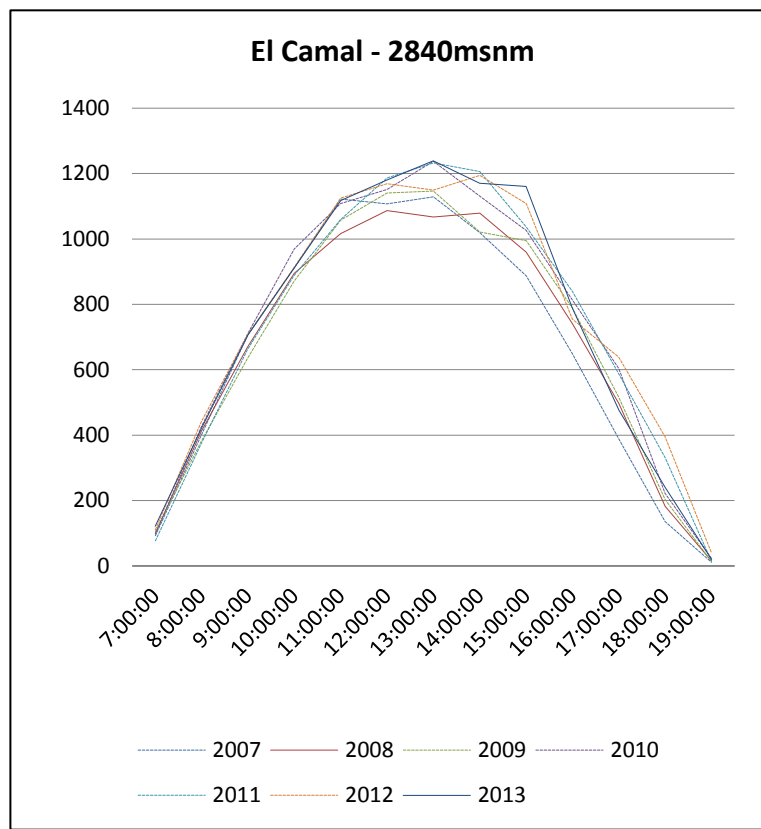


Figura 19.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

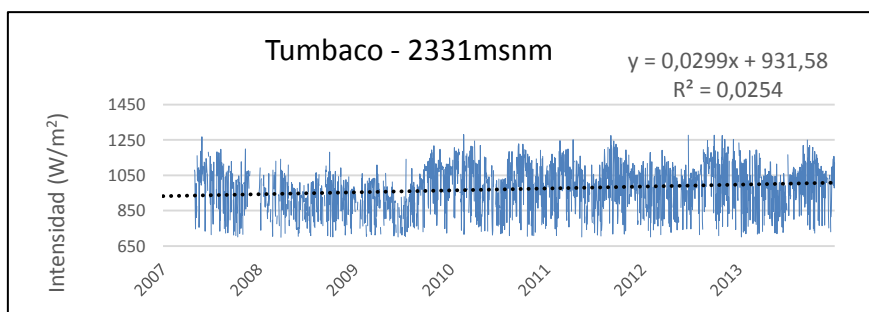
Como se puede apreciar, los valores máximos horarios que se registran en los últimos dos años de estudio (2012 y 2013) son invariablemente mayores que aquellos que se registran en los primeros años: los máximos horarios se logran en el 2012 en las estaciones de Tumbaco, Carapungo y Belisario, y en el 2013 en las estaciones de Cotocollao, Los Chillos y el Camal. Mientras que los valores mínimos horarios se registran en el 2007 en las estaciones de Carapungo y Cotocollao, y 2008 en Tumbaco, Los Chillos, Belisario y el Camal. Por otra parte como era de esperarse estos valores corresponden a la franja horaria de 12h00 a 13h00; aunque, algunos máximos se alcanzaron en la franja de 11h00 a 12h00.

4.3 Análisis de los datos a nivel diario

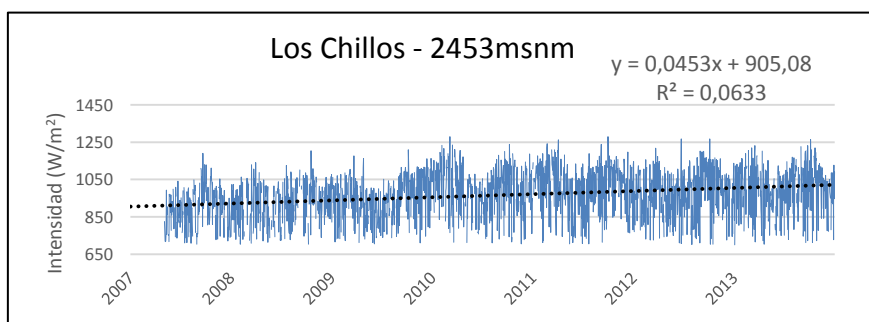
Para este análisis se tomaron los valores máximos diarios de radiación solar registrados en todos los años estudiados realizando una regresión lineal por Mínimos Cuadrados con el objetivo de verificar si existe algún tipo de tendencia al aumento o a la disminución. Los datos se presentan en la Figura 20, donde se presenta la ecuación lineal lograda y el coeficiente de determinación (indica la variabilidad de los datos de intensidad solar en el tiempo), las gráficas se presentan desde la de menor altitud (Tumbaco), ubicada en la zona de los Valles, hasta la más alta (Camal) ubicada en la zona urbana.

Valores máximos diarios registrados por año y por estación a) Tumbaco b) Los Chillos, c) Carapungo, d) Cotocollao, e) Belisario y f) El Camal. Las estaciones están ordenadas desde la de menor altitud a la de mayor altitud.

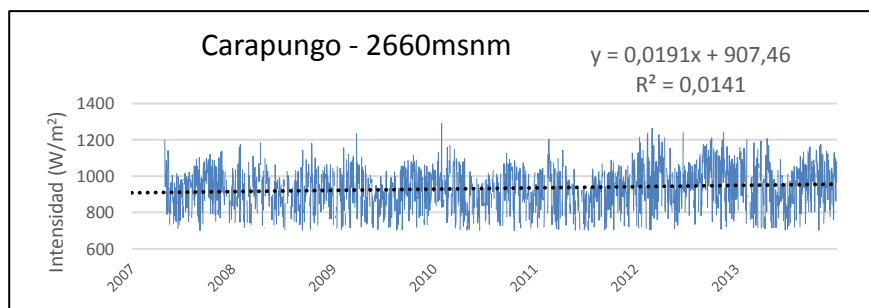
a)



b)



c)



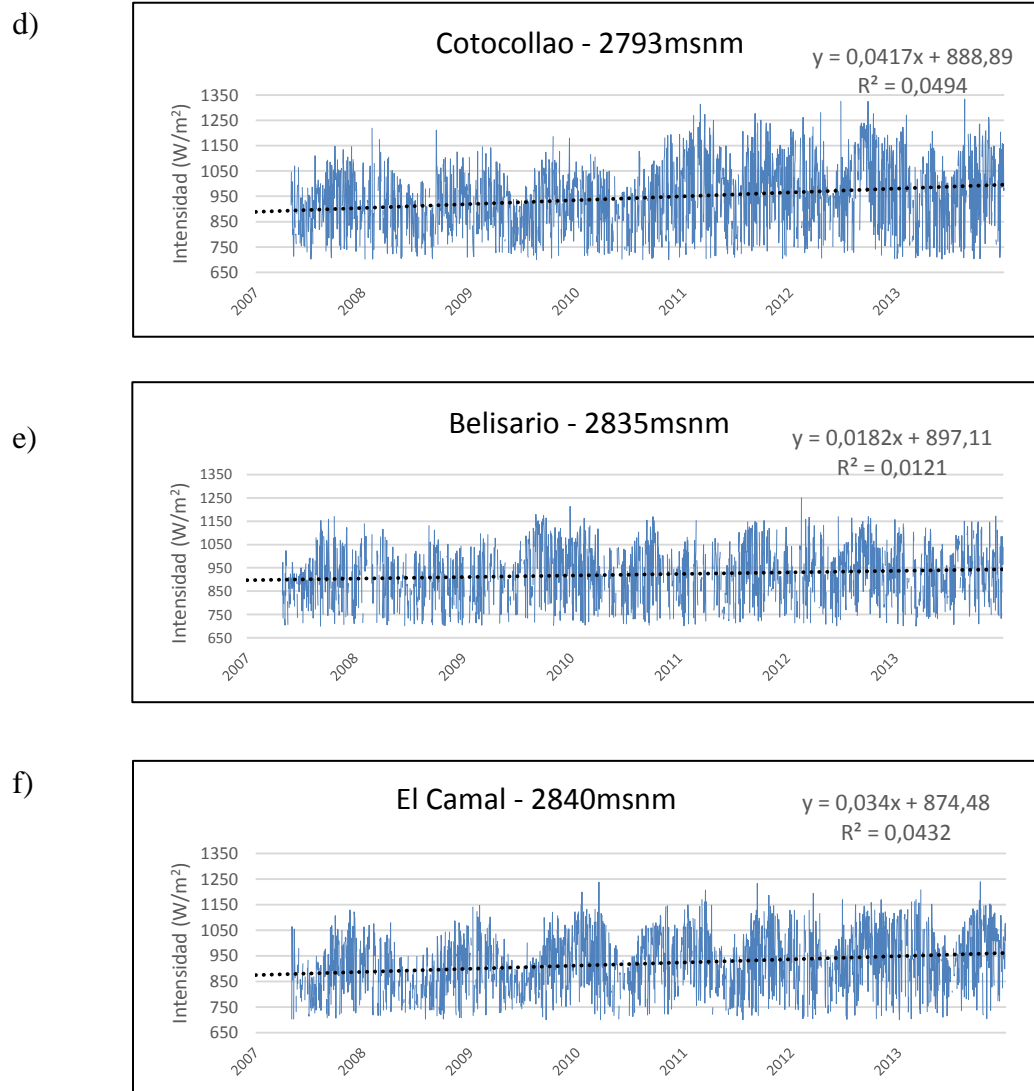


Figura 20.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

Como se puede apreciar en la figura 20, que los datos diarios de radiación solar tienen un comportamiento periódico, que responde a la estacionalidad de la actividad solar (solsticios y equinoccios), pero con una tendencia lineal positiva para todas las estaciones. La tabla 5, evidencia que la tendencia diaria mayor es de 16.53 Watts/año en la estación de Los Chillos, lo cual implicaría un incremento del 0.6% por cada año

transcurrido aproximadamente; mientras que una tendencia menor diaria se presenta en la estacione de Belisario con un valor de 6.64 Watts/año, con un porcentaje de incremento de 0.4% año a año.

Puede concluirse pues que si este comportamiento se mantiene en 10 años se podría tener un incremento en los valores máximos de radiación diaria de un 4% a 6%, en el territorio de Quito.

Cabe indicar, que la actividad solar, que tiene un ciclo de 11 años, en el período estudiado se encuentra decreciendo (máximo detectado a mediados del 2013, y mínimo el 2015), por lo que una explicación a este comportamiento podría ser el incremento de la temperatura, la cual afecta directamente a los montos de radiación difusa y reflejada del ambiente. Los valores máximos de temperatura a nivel diario se han visto gradualmente incrementados (Serrano et al, 2012).

Tabla 5.

Tabla de tendencias diarias y anuales de radiación solar global para las estaciones meteorológicas estudiadas.

Estación	pendiente/día	pendiente/año	R ²	p- value/día	p-value/año
Tumbaco	0,0299	10,914	0,0254	9,37E-11	3,42E-08
Los Chillos	0,0453	16,535	0,0633	1,15688E-10	4,22E-08
Carapungo	0,0228	8,322	0,0165	2,10368E-09	7,68E-07
Cotocollao	0,0417	15,221	0,0494	8,5827E-11	3,13E-08
Belisario	0,0182	6,643	0,0121	1,82254E-10	6,65E-08
El Camal	0,034	12,41	0,0432	1,98584E-10	7,25E-08

Nota: (REMMAQ, 2013)

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

4.4 Análisis de los datos a nivel mensual

Para el análisis mensual se tomaron los valores máximos de cada mes, promediados en los años estudiados (de 2007 a 2013) y para cada estación, ver figura 21.

Valores máximos mensuales promediados registrados en los años estudiados (2007 – 2013) para cada estación a) Tumbaco b) Los Chillos, c) Carapungo, d) Cotocollao, e) Belisario y f) El Camal. Las estaciones están ordenadas desde la de menor altitud a la de mayor altitud.

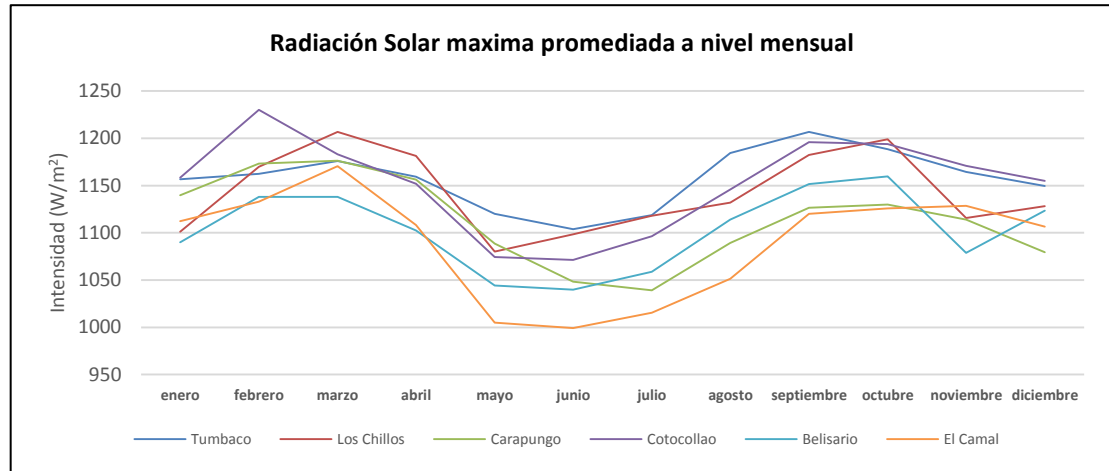


Figura 21.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

Como se puede apreciar en la figura 21, los datos mensuales de radiación solar tienen un comportamiento bimodal, correspondientes a los equinoccios de primavera (dado entre el 20 y 21 de marzo) y otoño (entre el 20 y 21 de septiembre). Existen corrimientos como en el caso de Cotocollao en el valor máximo se registró en el mes de febrero. También se evidencia que las estaciones más bajas (Tumbaco y los Chillos), registran los valores más altos de máximos mensuales, este resultado puede asociarse con el hecho de que en estas estaciones se registran también valores altos de temperatura.

4.5 Análisis de los datos a nivel anual

Para el análisis anual se tomaron los valores máximos por año de radiación solar global de todos los años estudiados y para cada estación, se puede visualizar en la figura 22.

Valores máximos anuales registrados por estación

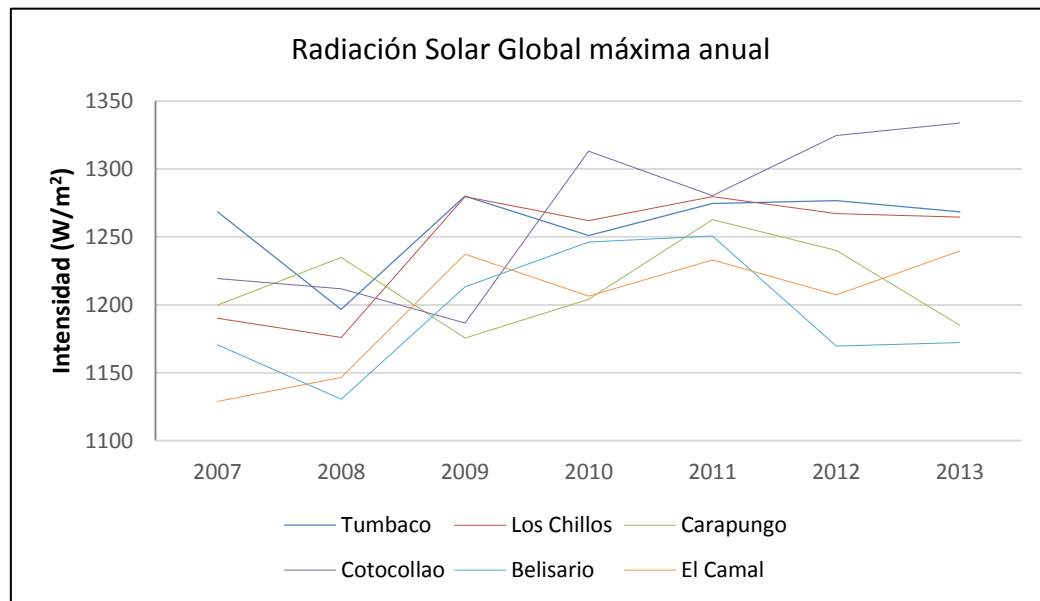


Figura 22.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

En la figura 22, se puede observar el comportamiento de la variación de radiación global solar por año, tiene una tendencia positiva, para todas las estaciones, inclusive aquellas en las que se registró mayor radiación en 2012 que en 2013, como es el caso de Carapungo y Belisario, estación que registró un ligero descenso en el valor máximo anual el 2013 respecto al 2012. La estación de Cotocollao es la que presenta un crecimiento más rápido de los valores máximos anuales. Asimismo, el año con mayor incidencia solar fue en el 2013 alcanzando un valor de 1333.78 W/m², este valor fue registrado en la estación de Cotocollao y en el año 2008 se registró el valor más bajo superior a los 1100 W/m² en la estación de Belisario. En la tabla 6, se presenta el resumen de los valores registrados año a año.

Tabla 6.

Radiación solar máxima horaria para cada estación meteorológica de Quito

ESTACIONES	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Cotacollao	1148,72	1219,47	1186,75	1193,64	1313,08	1324,52	1333,78
Carapungo	1199,79	1184,83	1234,94	1289,26	1204	1262,62	1206,76
Belisario	1170,6	1139,16	1213,28	1169,33	1246,12	1250,68	1172,21
El Camal	1128,83	1086,48	1146,69	1237,35	1232,93	1194,52	1239,56
Tumbaco	1180,31	1180,2	1216,71	1280,1	1274,7	1276,63	1250,09
Los Chillos	1190,22	1204,34	1208,75	1279,65	1279,61	1267,11	1264,57

Nota: (REMMAQ, 2013)

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

4.6 Temperatura ambiente y radiación global

Existe una relación física conocida entre temperatura ambiente y radiación global, expresada por la ley de Stefan Boltzmann (ver capítulo 1). Esta ley indica que mientras mayor es la radiación, mayor es la temperatura que emite un cuerpo negro (absorbedor perfecto). Es por esto, que se analiza la influencia que pueda tener las temperaturas máximas diarias sobre los niveles máximos diarios de radiación.

Asimismo, es importante indicar que se ha reportado que los valores máximos diarios de temperatura en Quito, están en aumento (Serrano et al, 2012) y que sus valores promedio también (Zambrano, 2010). Efectos reportados como consecuencia del calentamiento global, realidad que se ve incluida en los pronósticos y diferentes escenarios de los modelos de circulación global recomendados por el El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), organismo que ha generado diferentes escenarios, pesimistas y optimistas, respecto al nivel de calentamiento global, en función de las emisiones de carbono.

Para la variable de temperatura, existen datos horarios únicamente de los años 2011, 2012 y 2013, tabla 7, donde también se aprecia el porcentaje de datos válidos utilizados en este estudio.

Tabla 7.

Validación de datos de Temperatura

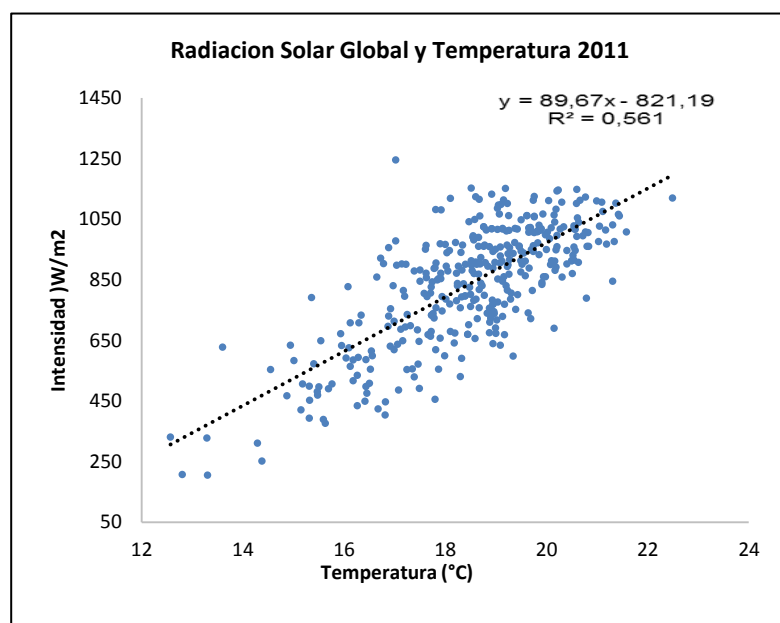
Año	Datos válidos	Datos vacíos	Datos Totales	%
2011	8709	50	8759	99,4291586
2012	8743	43	8786	99,510585
2013	8513	246	8759	97,1914602

Nota: (REMMAQ, 2013)

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

De esta manera, se presentan las correlaciones entre las temperaturas máximas diarias y los valores máximos diarios registrados de radiación solar (figura 23), sobre todo el territorio del DMQ.

Diagrama de dispersión entre radiación solar global y temperatura ambiental y su ajuste por mínimos cuadrados



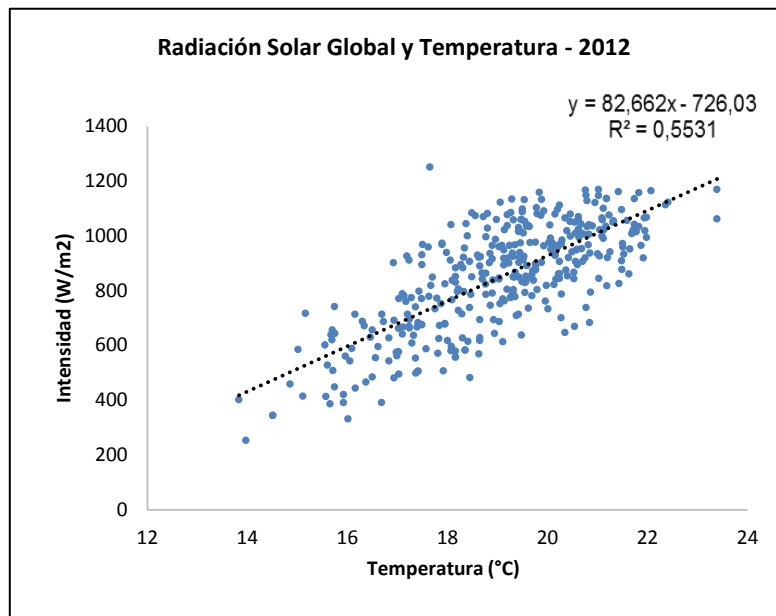
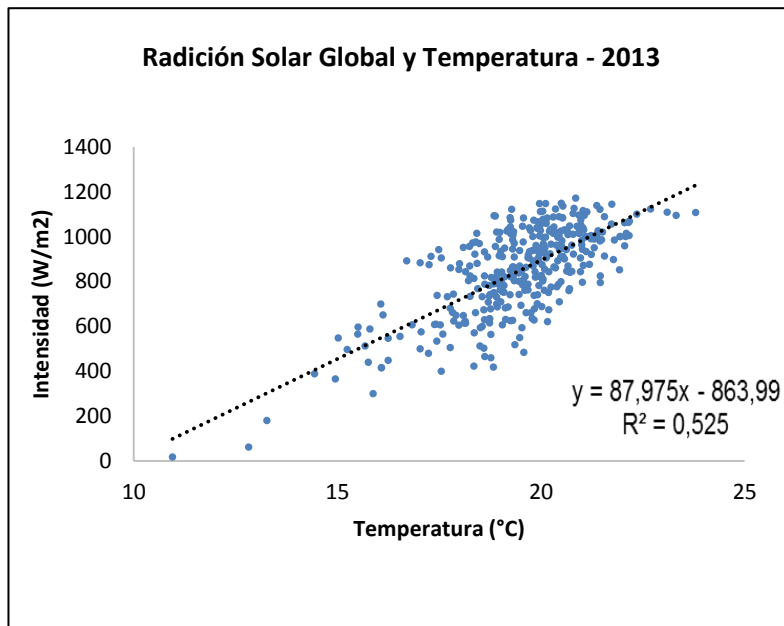
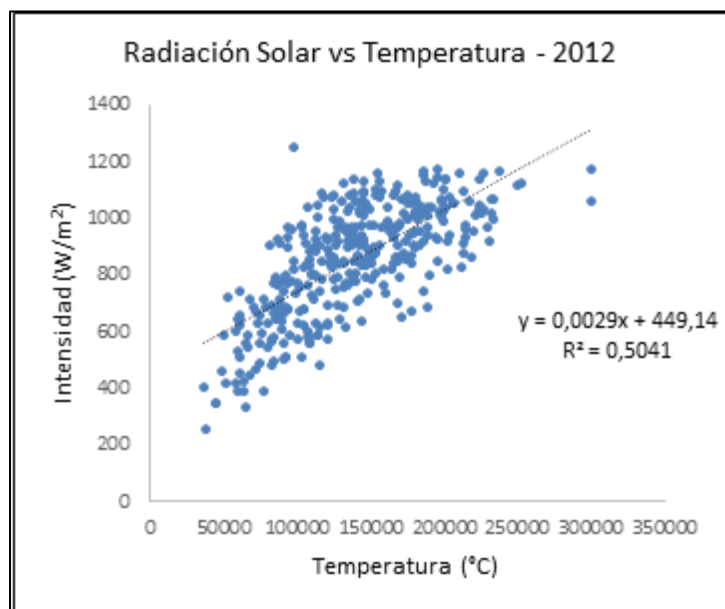
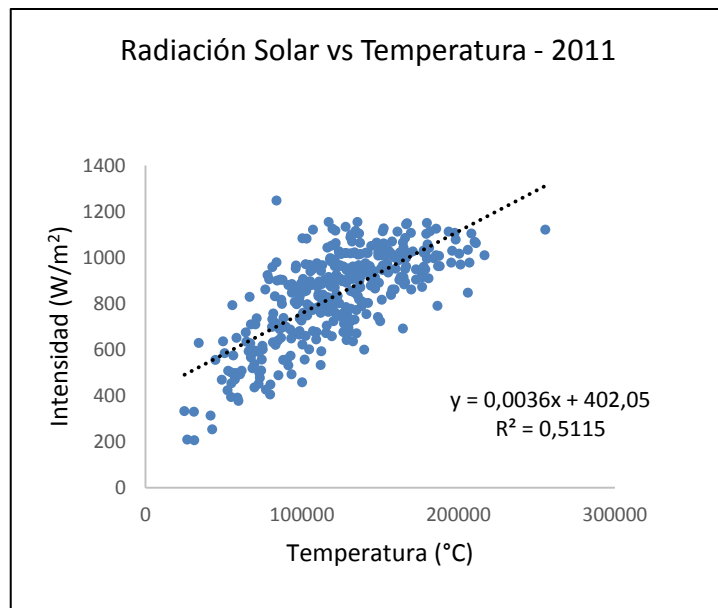


Figura 23.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

A partir de la información presentada en la figura 23, se obtiene un grado de correlación lineal de 0.55 entre los años 2011,2012 y 2013 existiendo una débil proporcionalidad directa entre temperatura ambiental y radiación solar, ya que no se consideran factores climáticos de naturaleza compleja en la que intervienen muchas variables: nubosidad, humedad relativa, ozono, tipo de suelo, contaminación del aire, por mencionar algunas.

Diagrama de dispersión entre radiación solar global y temperatura ambiental (T^4) y su ajuste por mínimos cuadrados.



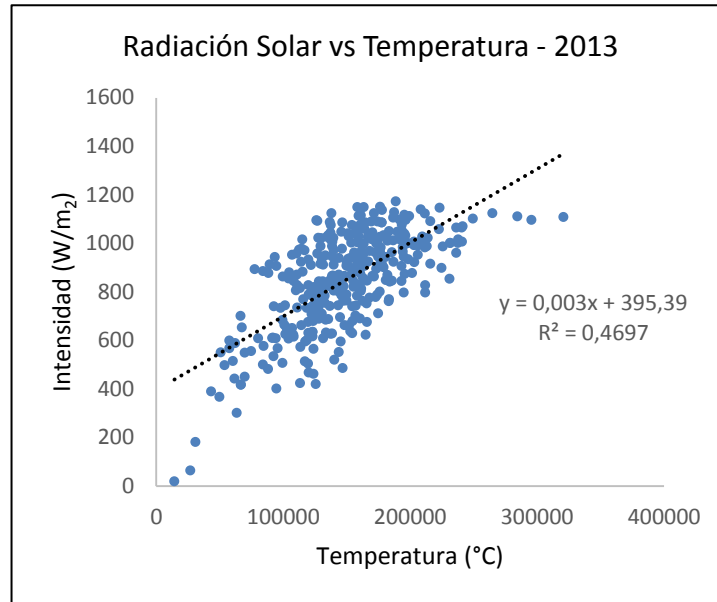


Figura 24.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

En la figura 24. se aprecia un factor de correlación lineal aproximadamente de 0.5 para los años 2011, 2012 y 2013, sabiendo que la relación fue entre radiación solar y temperatura ambiente (T^4) aplicando la Ley de Stefan Boltzmann, la cual tiene una tendencia positiva con una proporcionalidad débil entre las variables estudiadas.

Tabla 8.

Parámetros del ajuste lineal por mínimos cuadrados de radiación global frente a T ($E=m \cdot T+a_0$) y T^4 ($E=m' \cdot T^4+ b_0$)

Años	$m/m' \cdot 10^{-3}$	a_0/ b_0
2011	90/3.6	821/402
2012	93/2.9	726/450
2013	89/3.0	836/395

Nota: (REMMAQ, 2013)

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

De acuerdo a la información presentada en la tabla 8. La ley de Stefan Boltzmann se cumple dado que la intensidad solar aumenta con la temperatura, aunque sus emisividades sean bajas, así también se afirma que la tierra se comporta como un cuerpo negro (no perfecto) según los valores de la pendiente cuando T^4 .

Cualitativamente se aprecia una pendiente positiva cuando se relaciona intensidad solar con temperatura (T^1) y se puede notar un leve incremento el valor de la temperatura con el tiempo aunque por falta de datos no se puede visualizar y obtener el valor exacto de cuanto aumentaría año a año.

Valores máximos mensuales de radiación solar y temperatura ambiental para los años estudiados (2011-2013) y para cada estación, las estaciones están ordenadas desde la más baja a la más alta.

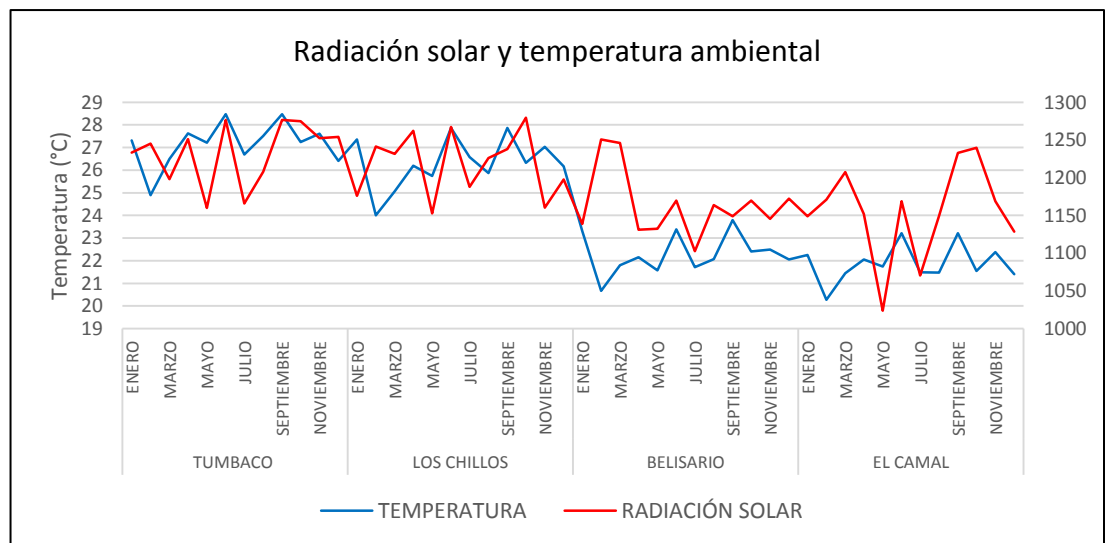


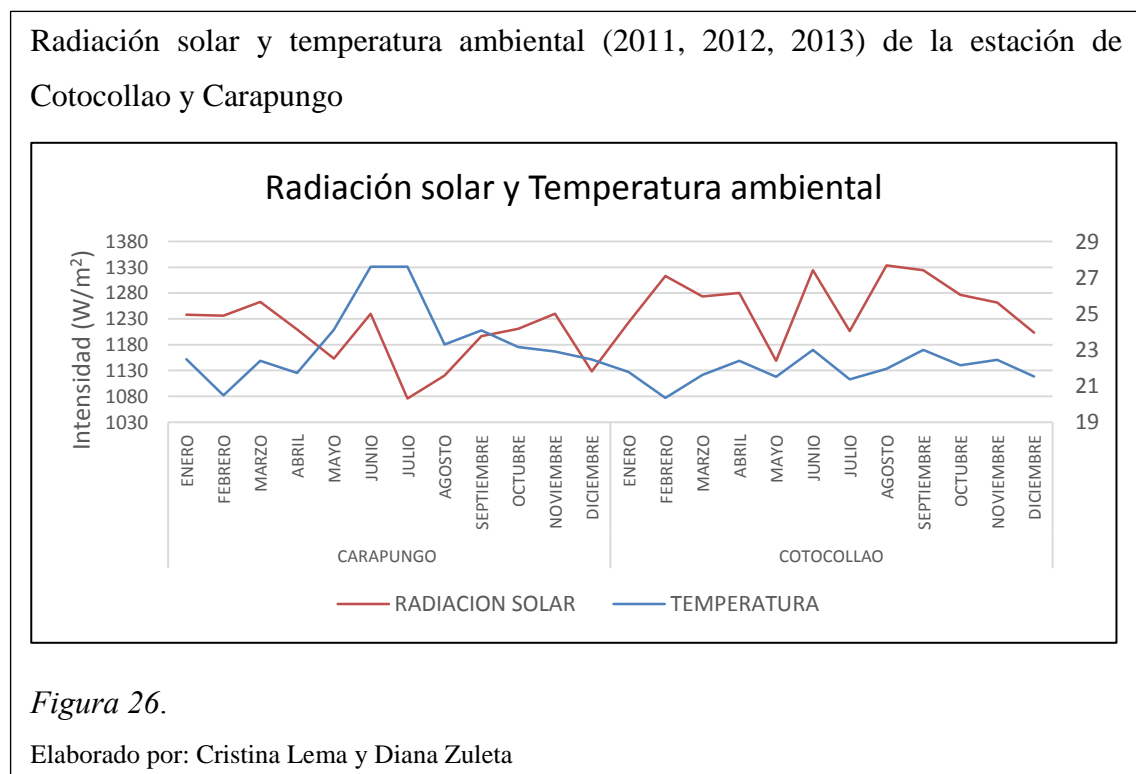
Figura 25.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

En la figura 25. se aprecia como las estaciones más bajas: Tumbaco y los Chillos, presentan valores más altos de radiación solar (con temperaturas máximas elevadas), hecho también reportado por la literatura (Serrano *et al*, 2012) mientras que las estaciones más altas: Belisario y El Camal (con temperaturas máximas más bajas en los meses de febrero, marzo, septiembre y noviembre) presentan una reducción en las

cantidades de radiación solar. Sin embargo, existen dos estaciones en el Distrito Metropolitano de Quito, la de Cotocollao y Carapungo, sabiendo que son zonas desérticas y áridas del norte de la ciudad, que han presentado un comportamiento diferente a las demás estaciones.

En la figura 26, en la estación de Carapungo se puede observar en los meses de mayo a agosto valores elevados de temperatura, lo cual puede ser causado por el efecto generador y acumulador del calor de los edificios, con una baja radiación solar, mientras que en la estación de Cotocollao se observa niveles bajos de temperatura y valores elevados de radiación solar, dicho comportamiento puede ser generado por la disipación de temperatura por la presencia de vientos y precipitaciones; pero al momento son hipótesis que continúan abiertas para próximas investigaciones en el área meteorológica. Una comunicación privada (Ing. Homero Jácome) del departamento de Predicción Meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) indica que el factor precipitación fue alto en los años 2011 a 2013 especialmente en los meses de febrero a abril.



4.7 Análisis de la radiación ultravioleta a través del IUV

Para el análisis de la radiación ultravioleta, se estudia el índice ultravioleta (IUV) del cual existía disponibilidad de datos válidos únicamente para la estación de Jipijapa y en los años de 2010 al 2013. Se realizó una validación de datos (cota del 75%), encontrando que los años 2010 y 2011 son útiles para el posterior análisis (ver tabla 9).

Tabla 9.

Validación de datos de IUV

Año	Datos válidos	Datos vacíos	Datos	%
Totales				
2010	4729	8	4745	99,8314015
2011	4685	60	4745	98,7355111
2012	3031	1604	4635	65,3937433
2013	3388	1357	4745	71,4014752
2014	1486	1270	2756	53,9187228

Nota: (REMMAQ, 2013)

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

Los datos de radiación ultravioleta utilizados para este análisis tienen una resolución temporal de 1 minuto, asimismo, se cuenta con el promedio logrado cada diez minutos, hasta conseguir promedios horarios. A partir de los promedios horarios de radiación solar y radiación ultravioleta transformada en IUV se puede observar en la figura 27 un correlación muy similar entre las dos variables. Los promedios se realizan debido a la enorme sensibilidad del IUV (tendencias de un fuerte crecimientos y decrementos de los valores) influenciados por a la presencia de nubes en la segunda tendencia así como a la presencia de conglomerados específicos de vapor de agua que generan el llamado “efecto lupa” (<http://www.meteolobios.es/solar.htm>, 2013) , en la primera.

Sin embargo, se registra una correspondencia bastante cercana entre los datos de radiación solar e IUV, tal como se muestra en el figura 27.

Radiación solar e IUV para tres días de datos estudiados

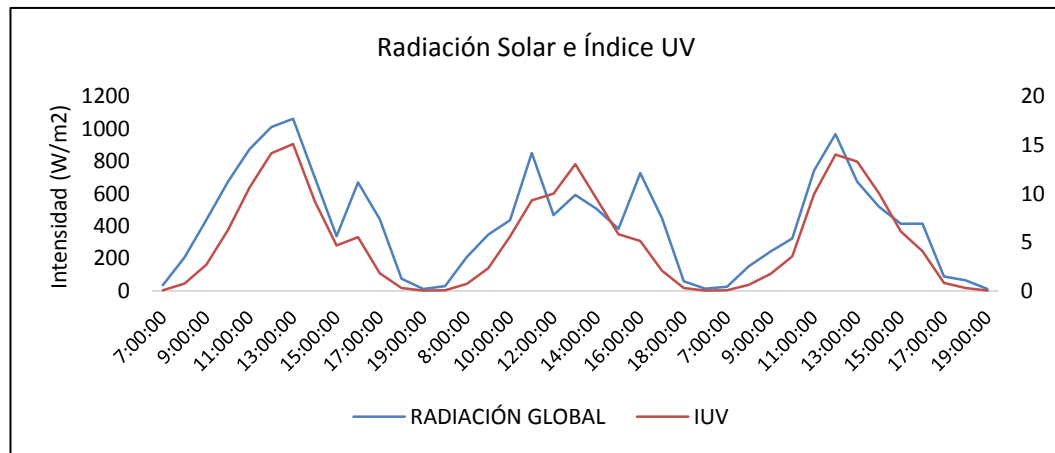


Figura 27.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

De esta manera, en el presente estudio, se realizará una correspondencia entre los datos registrados de radiación solar e IUV, sugerida en la lectura (Blesa, 2009), tomando en cuenta que los valores de radiación ultravioleta corresponde al 6.5% de la radiación global, y haciendo referencia a la tabla sugerida por la FEPSO (ver tabla 2. Capítulo 3), se hallaron valores aproximados de IUV, para cada valor de radiación solar.

La relación se presenta a continuación:

Ejemplo:

$$1353 \text{ W/m}^2 \cdot \left(\frac{6.5}{100}\right) \cdot \left(\frac{16 \text{ IUV}}{103.9 \text{ W/m}^2}\right) = 13.54 \sim 14 \text{ IUV}$$

Donde,

6.5: es el porcentaje de energía del espectro UV que llega a la superficie

103.9 W/m²: es la irradiancia total del espectro UV en la superficie terrestre: valor que corresponde a un 100% de transmisión a través de la atmósfera.

16: Valor de IUV catalogado como extremo en la tabla de la FEPSO.

Es decir, que se valida la correspondencia directa entre el comportamiento de la radiación solar y el IUV, tanto en sus tendencias temporales, como en la correlación con la temperatura que se realizó en los capítulos anteriores.

Sin embargo, debido a la importancia para la salud que tiene el IUV, los análisis (espaciales) siguientes se realizaron en función de éste parámetro y no en función de la radiación solar, con el objetivo de identificar más fácilmente las amenazas y recomendaciones para la salud a tipo de “solmáforo”.

ANÁLISIS ESPACIAL DE LA RADIACIÓN SOLAR GLOBAL: SOLMÁFORO ESPACIAL

El sistema de coordenadas geográficas empleado es el WGS 84 Zona 17 Sur, es decir utilizando datos de latitud y longitud.

Ubicación de las estaciones de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ), utilizadas en este estudio.

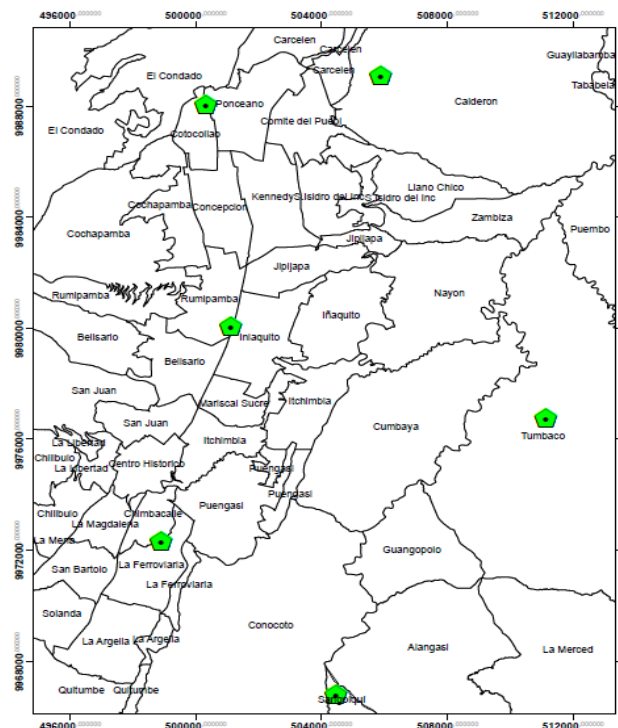


Figura 28.

Fuente: Cristina Lema, Diana Zuleta e Iván Álvarez

Partiendo de los shapes generados para cada estación, se desarrolló un modelo digital, utilizando el método geoestadístico de interpolación de Distancia Inversa Ponderada conocida como Inverse Distancia Weighting (IDW) por sus siglas en inglés, éste es el método recomendado por su simplicidad y robustez, ello implica que nunca generará valores fuera del rango de los datos y es el que mejores resultados aporta a la vista de los resultados. (Pesquer, Masó, & Pons, 2006)

“El IDW es un método matemático de interpolación que parte del supuesto de que las cosas que están más cercanas, son más parecidas y por lo tanto asume que cada punto medido tiene una influencia local que disminuye con la distancia, según la ecuación 9.” (Murillo, Ortega, Carrillo, Pardo, & Rendón, 2012)

Ecuación 9. Distancia Inversa Ponderada

$$Z(S_o) = \sum_{i=1}^N \lambda_i * Z(S_i)$$

Dónde:

$Z(S_o)$ es el valor a predecir

N es el número de muestras alrededor del punto a predecir,

λ_i son los pesos asignados a cada punto vecino

$Z(S_i)$ son los valores medidos.

Los pesos de los puntos vecinos están dados por:

Ecuación 9. Puntos vecinos

$$\lambda_i = \frac{d_{io}^{-p}}{\sum_{i=1}^N d_{io}^{-p}}$$

Donde:

d es la distancia entre el lugar de predicción (S_o) y el lugar muestral (S_i)

p es un factor de reducción de peso, cuyo valor se encuentra minimizando el error cuadrático medio o error de predicción.

Una vez realizada la interpolación se definió el rango de valores que relaciona a la radiación solar con el índice ultravioleta IUV, sugerida por la FEPSO (Cañarte, 2011). En esta tabla (tabla 10) se asigna un color dependiendo su intensidad de radiación: baja: verde, moderada: amarilla, alta: naranja, muy alta: roja, extremadamente alta: violeta, se realizaron los ajustes de unidades explicados en el capítulo 4.

Tabla 10.

Categoría de exposición a la Radiación Solar Global e Índice UV

CATEGORÍA DE EXPOSICIÓN	ÍNDICE IUV	RADIACIÓN SOLAR GLOBAL [W/m ²]
Muy Baja	0 A 3	0 A 349
Baja	4 A 5	350 A 549
Moderada	6 A 7	550 A 749
Alta	8 A 10	750 A 1048
Muy Alta	11 A 15	1049 A 1548
Extremadamente Alta	16 +	1549 +

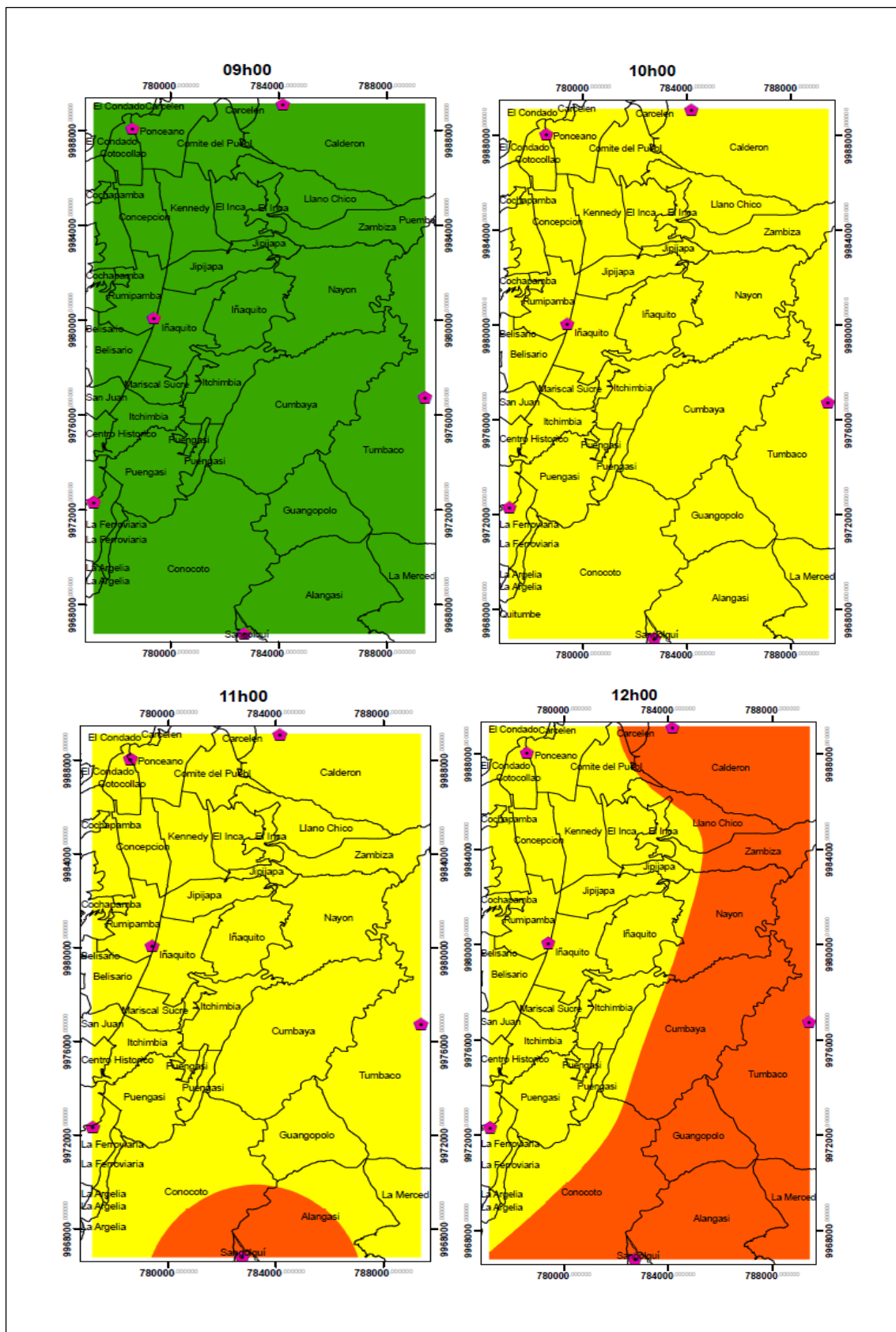
Nota: Modificada de (Laboratorio de Física de la Atmósfera, 2012)

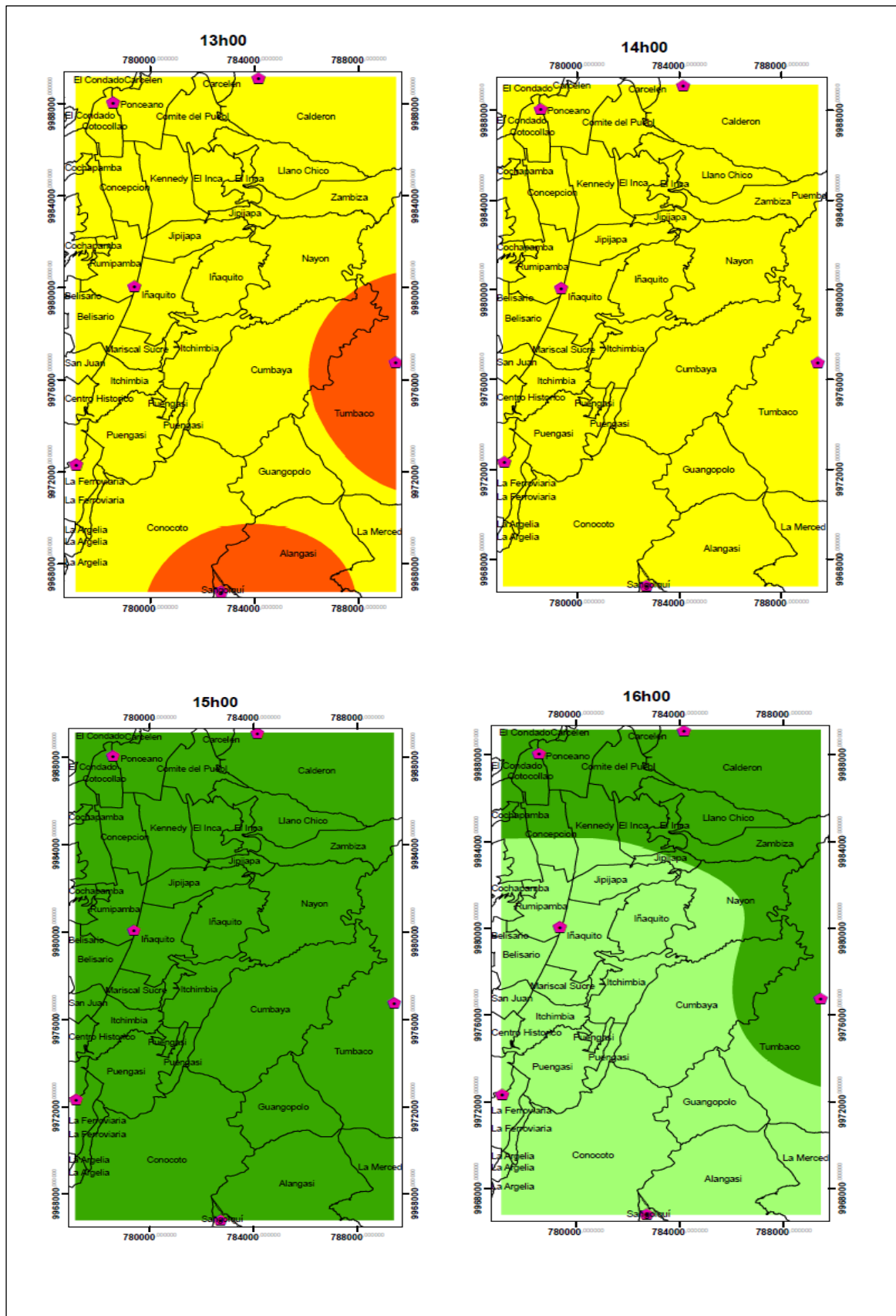
5.2 Análisis de los valores promedios horarios

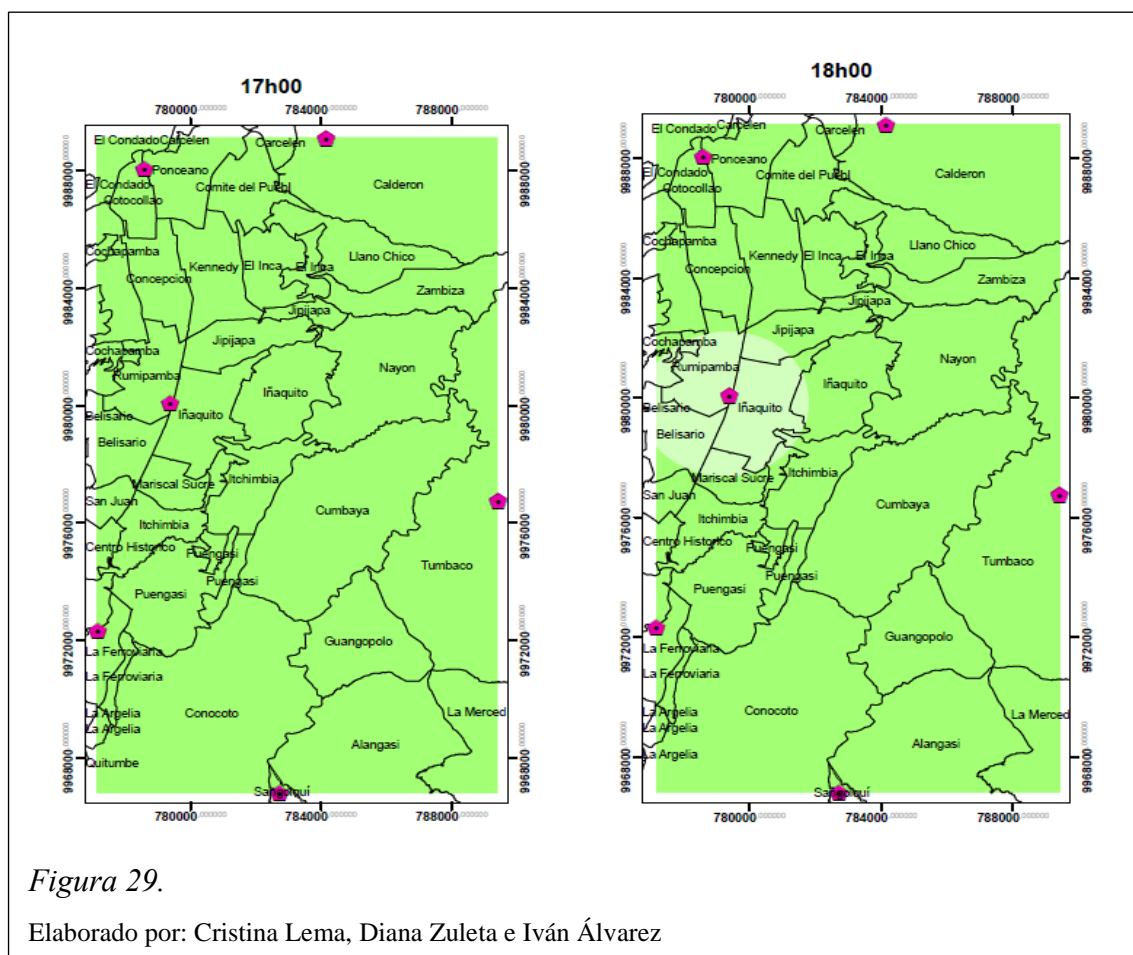
Debido a la importancia que tiene para la salud la evolución de la exposición a diferentes niveles de radiación solar a lo largo del día, se analizaron los valores promedios registrados en cada hora durante el período estudiado (2007-2013). Después, utilizando los niveles de alerta de la tabla 11, y al regionalizar estos datos para cada estación estudiada, se lograron los mapas de la figura 28.

Niveles de alerta y recomendaciones

Nota: Modificado de (Organización Mundial de la Salud, 2003)







En la figura 29. se muestra el comportamiento promedio horario de la radiación solar global; al comenzar el día se mantiene en toda la ciudad un nivel de exposición bajo que va incrementándose al pasar de las horas, de muy bajo a las 07h00 hasta bajo a las 09h00; a las 10h00 el nivel de exposición promedio es moderado en la ciudad.

A las 11h00 la ciudad se mantiene en un nivel moderado, sin embargo en la zona de Sangolquí, Conocoto y Alangasí se nota un incremento de la radiación a exposición alta, estas zonas del Valle se caracterizan por tener un promedio de 5°C sobre la temperatura promedio de la zona urbana de Quito (Serrano *et al*, 2012), estos valores superiores de radiación solar se mantiene hasta las 13h00.

A partir de las 14h00 la cantidad de radiación solar promedio empieza a decrecer de manera generalizada, observando que la ciudad a esa hora tiene un nivel de exposición moderado; hasta que comienza a anochecer a las 18h00 con un nivel de exposición promedio muy bajo.




5.3 Análisis de los valores máximos horarios

Para una mejor visualización de los mapas de valores máximos, se utilizó diferentes tonalidades del mismo color, tal como se muestra en la tabla 12. Los valores que se presentan a continuación (figura 30) corresponden a los valores de radiación solar máximos registrados en una hora (vale la pena indicar que ya existe un promedio anterior que involucra los valores instantáneos promediados en dicha hora).

La naturaleza de la radiación solar es muy variable, se ve atenuada cuando se incrementa la nubosidad, o la cantidad de material particulado contaminante; y por el contrario aumenta cuando coinciden moléculas de vapor de agua, gracias al “efecto lupa”. Es decir, que todo el tiempo, existen pequeños instantes en los que la intensidad de la radiación solar aumenta y disminuye en varios órdenes, y por esta razón se estudian los valores promedios y valores promedios de los datos máximos.

Tabla 12.

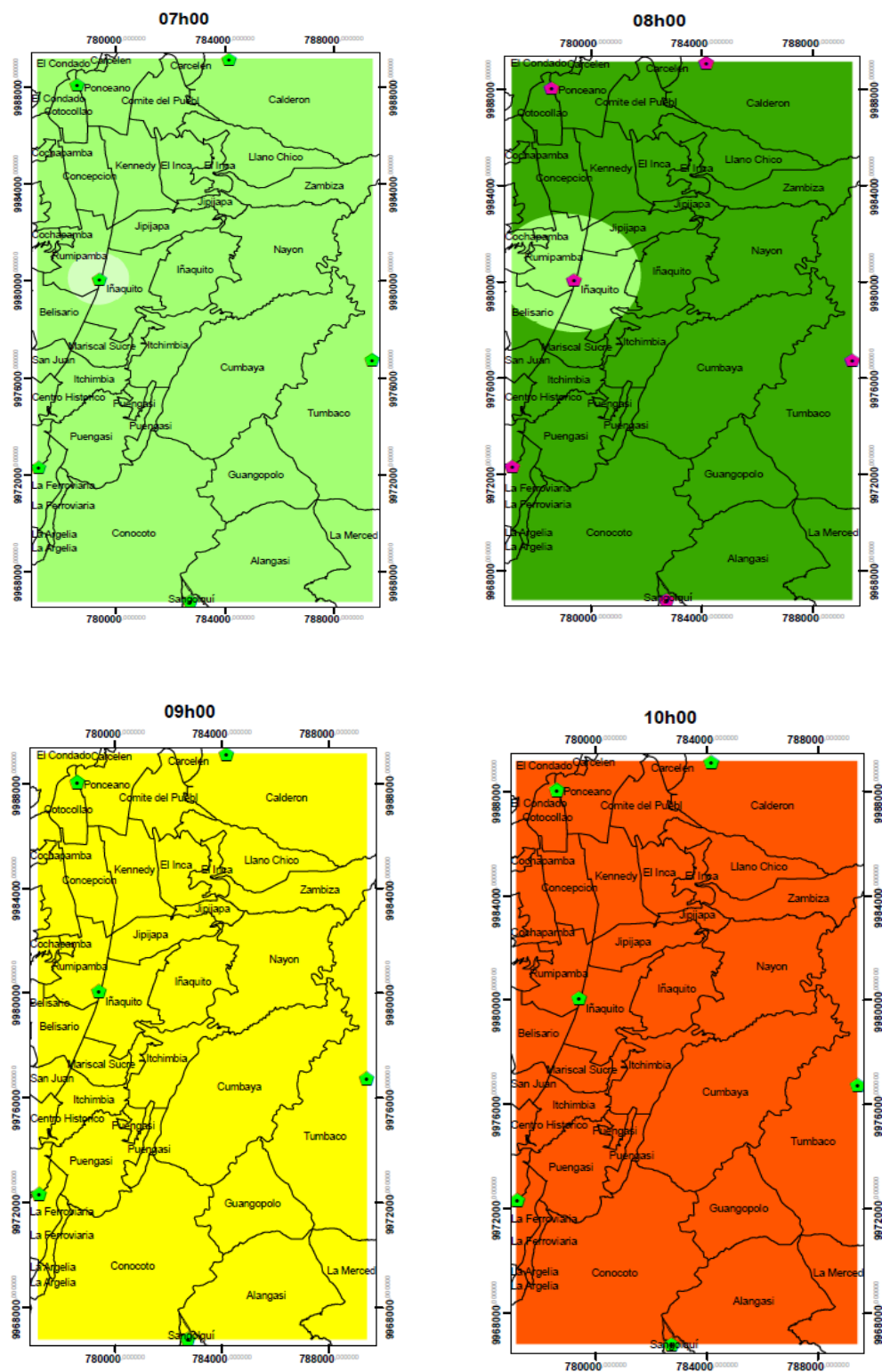
Tonalidades en la misma gama de color para un mismo nivel de alerta, el muy alto, utilizados en la figura 30.

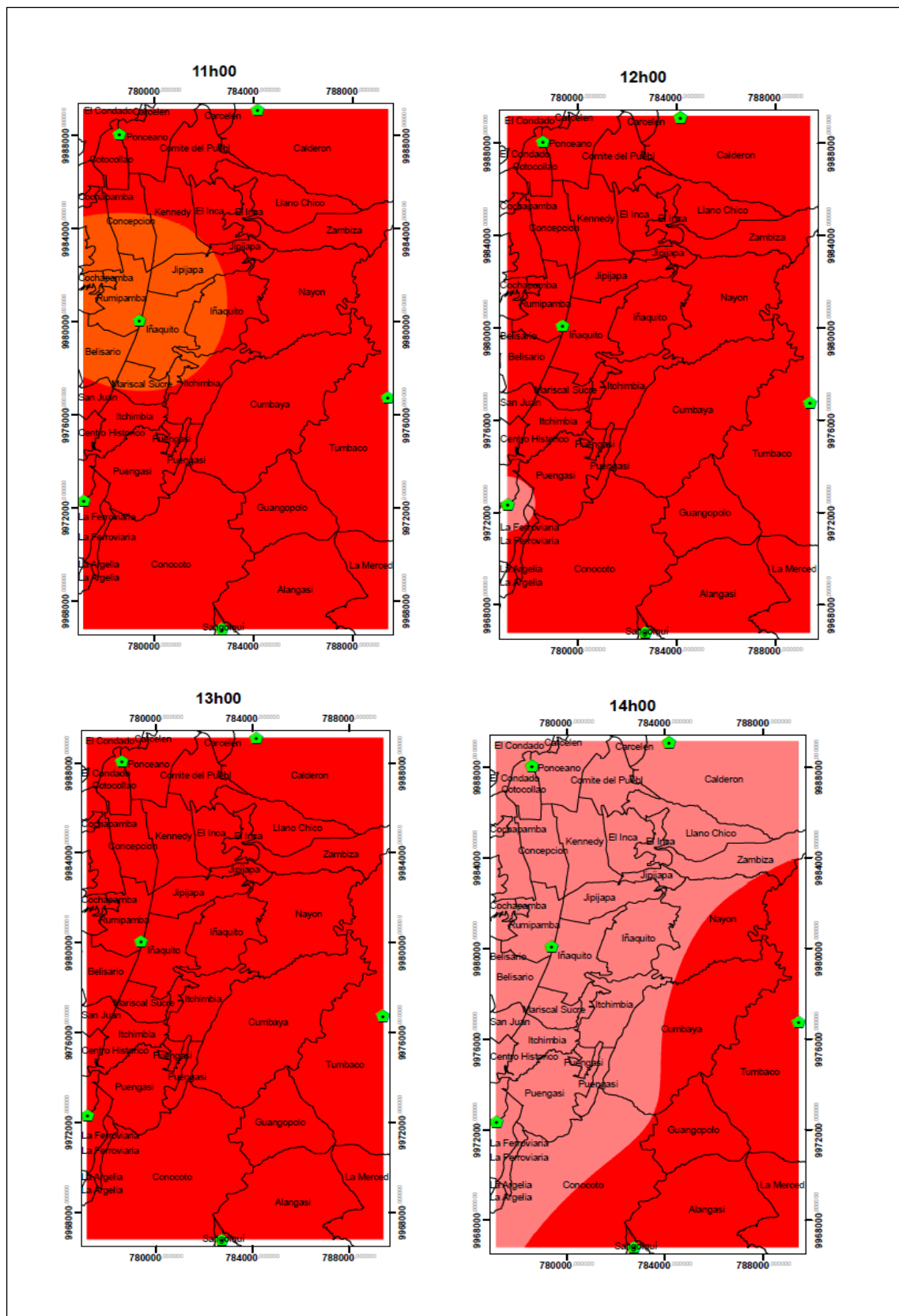
RADIACIÓN GLOBAL -- ÍNDICE UV -- NIVEL DE EXPOSICIÓN			
[W/m2]			
	1.049 - 1.148	11	MUY ALTO
	1.149 - 1.248	12	MUY ALTO
	1.249 - 1.348	13	MUY ALTO

Nota: (Benavides Ballesteros, 2010)

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

Valores máximos horarios de radiación para cada hora desde las 7h00 hasta las 18h00





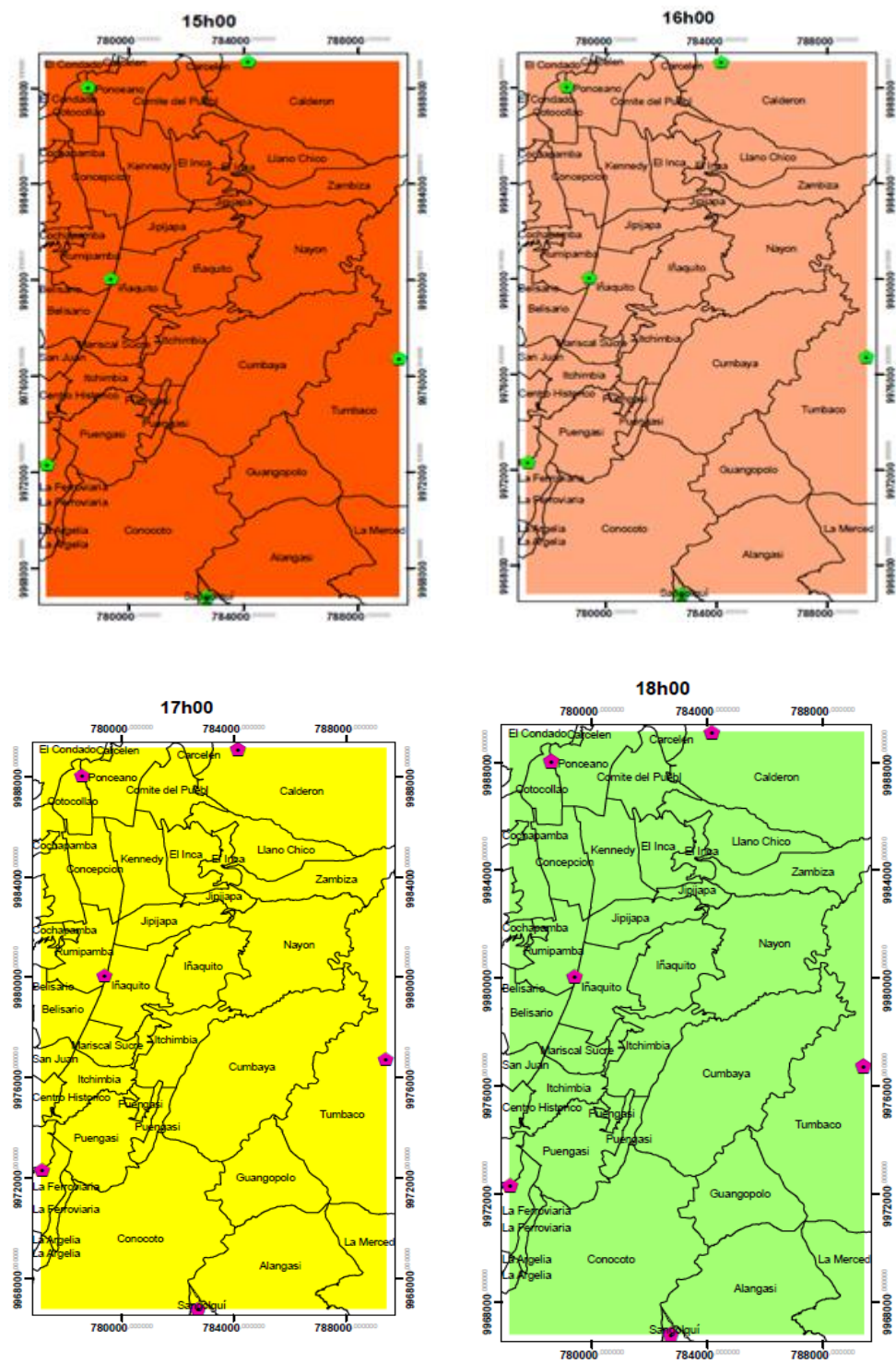


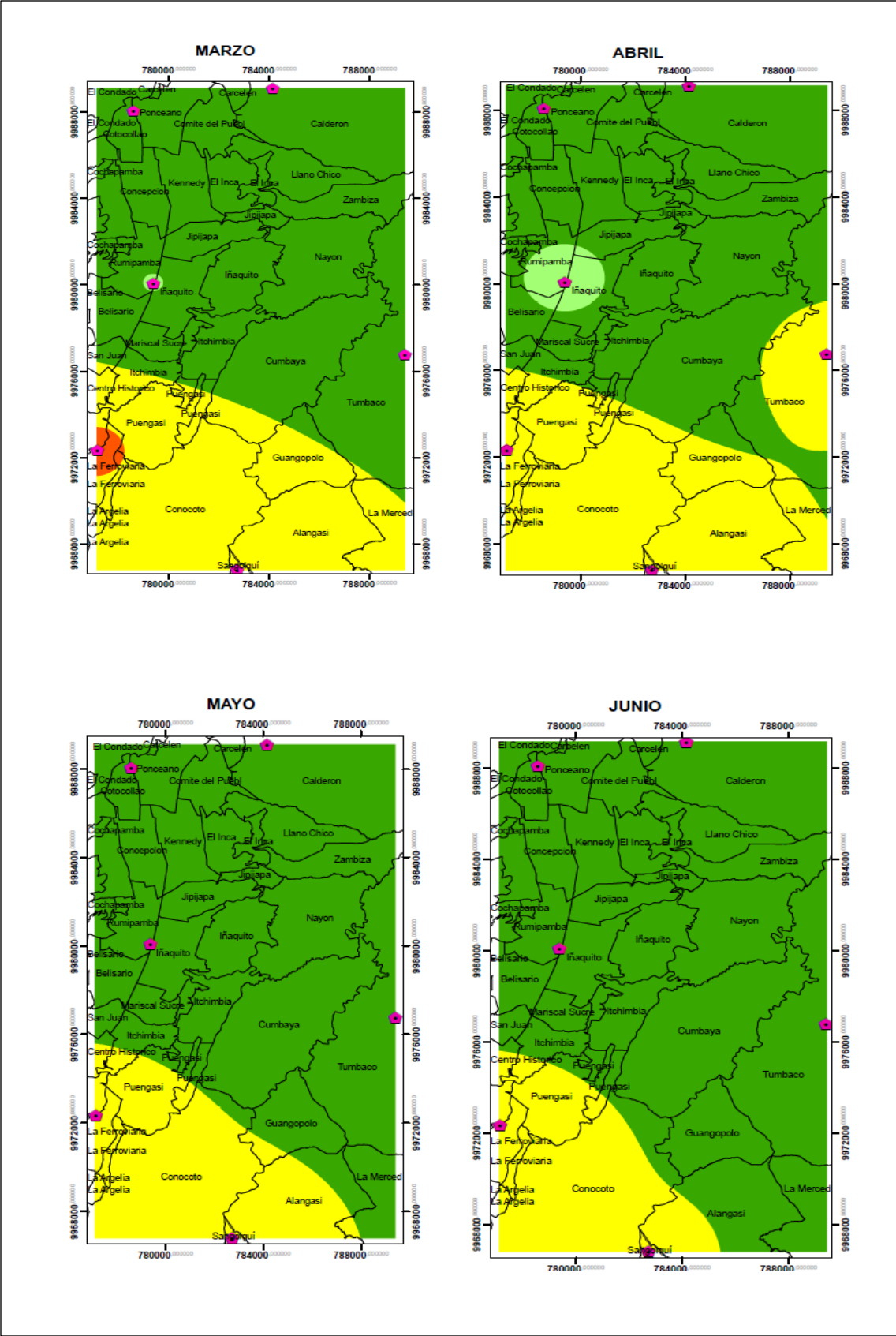
Figura 30.

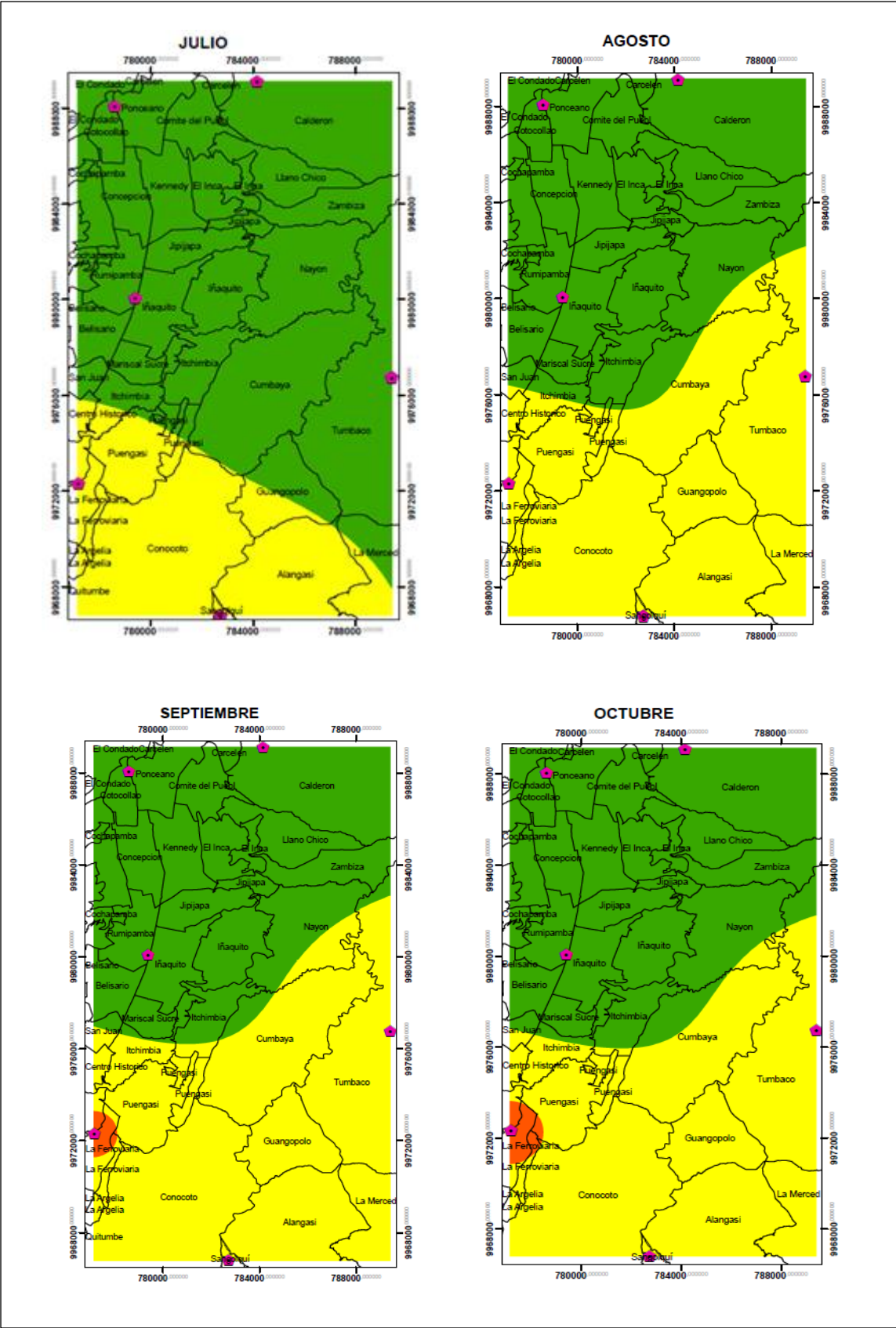
Elaborado por: Cristina Lema, Diana Zuleta e Iván Álvarez

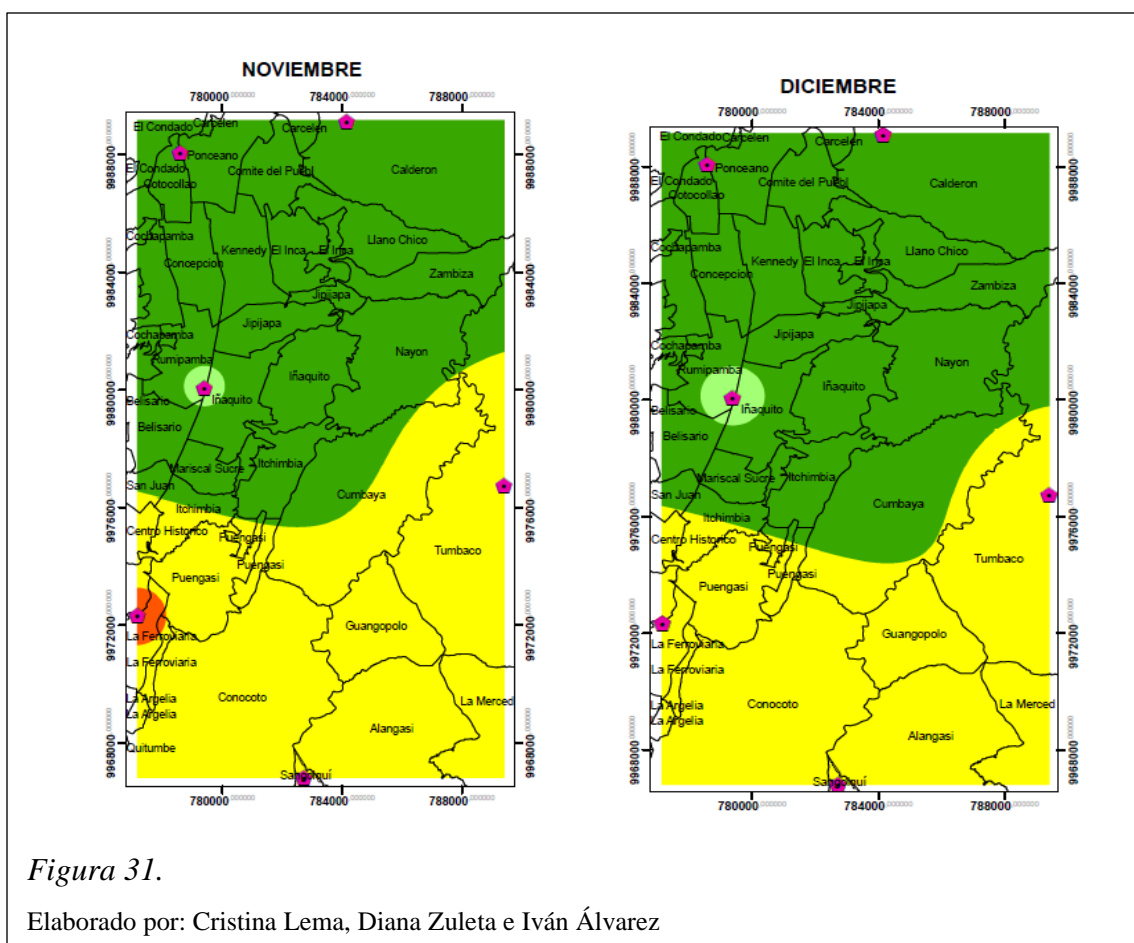
Es decir que Quito puede estar expuesto a niveles máximos de radiación considerables (altos y muy altos) desde las 10h00 hasta las 16h00, son 7 horas de las 12 horas del día, el 58% del tiempo que la ciudadanía debería usar protección especial: filtro solar, ropa de manga larga, gafas, y sombrero. Mientras que se debería buscar la sombra desde las 11h00 hasta las 14h00, es decir, 4 horas, el 33% del día, para que no haya eventos extremos que afecten a la ciudadanía.

A continuación se presenta el análisis con los valores promedios mensuales registrados durante el periodo estudiado (2007-2013) (ver figura 31).









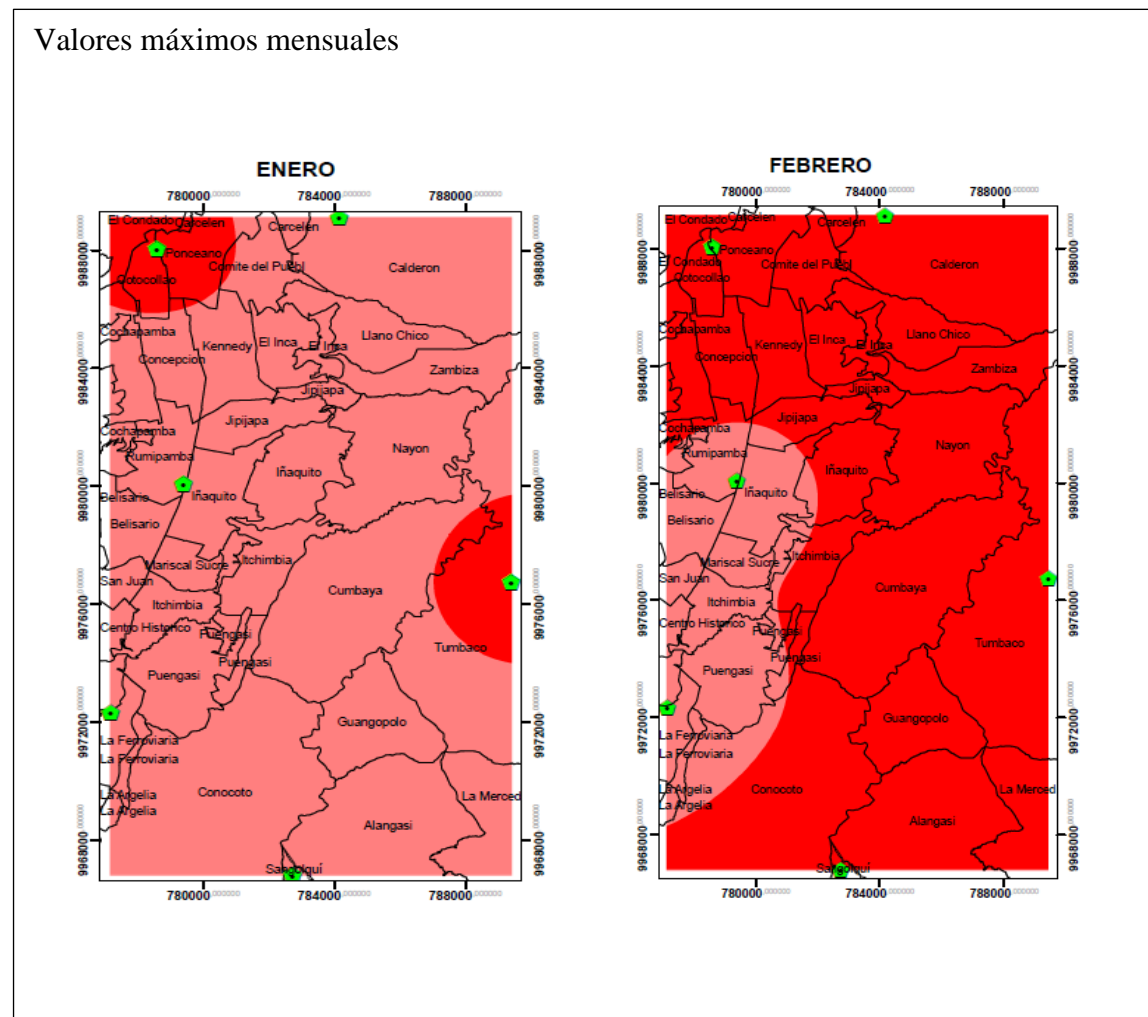
En la figura 31 se aprecia la cantidad de radiación solar promediada en los años de estudio (2007-2013) a la que se encuentra expuesta Quito en los diversos meses del año. En general la primera observación que se hace es que la zona sur que inicia en Itchimbia en la zona urbana y Cumbayá en la zona de los valles, y que se encuentra –en general- a mayor altitud que la zona norte, recibe niveles de radiación superiores.

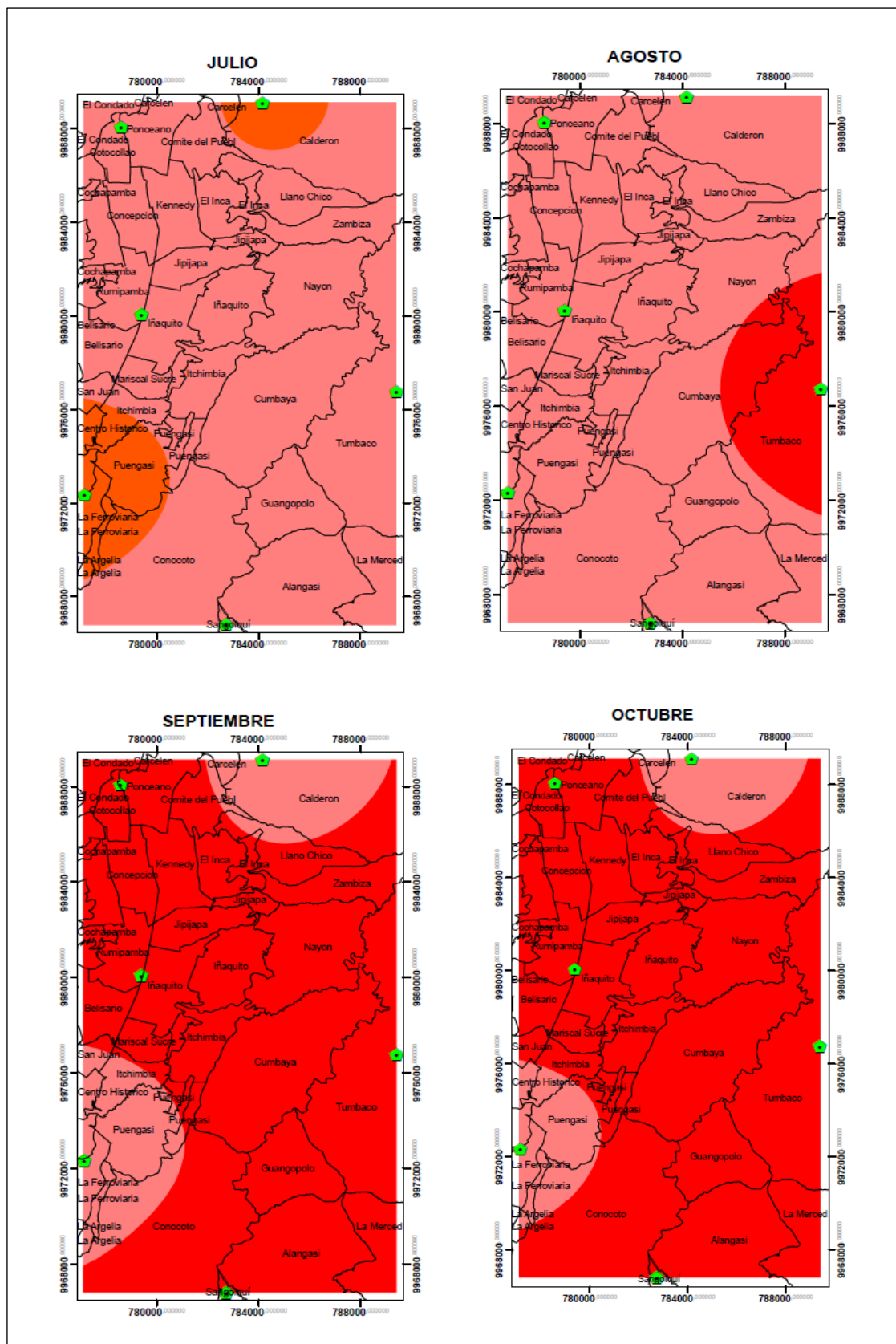
Asimismo, se observa que los valores de radiación promedio registrados por la estación con mayor altitud (El Camal) es sensible a la presencia de los equinoccios ocurridos en marzo (equinoccio de primavera), y septiembre (equinoccio de otoño), sin embargo, la presencia del equinoccio de primavera se ve disminuída por la estación lluviosa que empieza en el mes de abril y que por lo tanto “cubre” la presencia de niveles altos de radiación promedio.

La presencia del efecto clúster o más conocido como “ojos de buey” en los mapas, alrededor de ciertas estaciones, responde a la metodología escogida, e implica que los puntos muestrales no se encuentran uniformemente distribuidos, esto origina redundancia y sesgos en la interpolación debido que al encontrarse los puntos separados por distancias muy cortas estos soportan una sobreestimación de la ponderación. (González & Bosque, 2008)

5.5 Análisis de valores máximos mensuales

Para este análisis se utilizaron los valores máximos registrados de los años de estudio (2007-2013) de todas las estaciones meteorológicas ubicadas en el Distrito Metropolitano de Quito (figura 32).

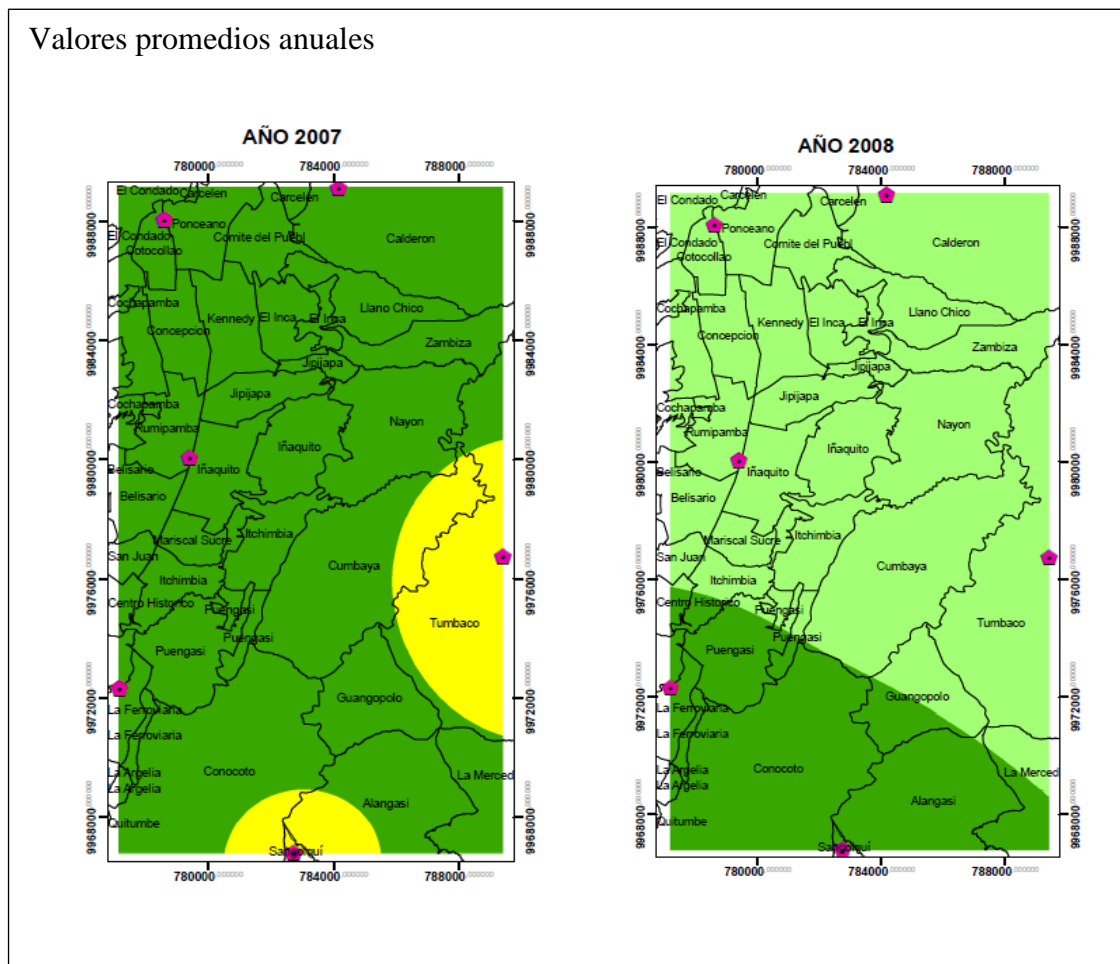


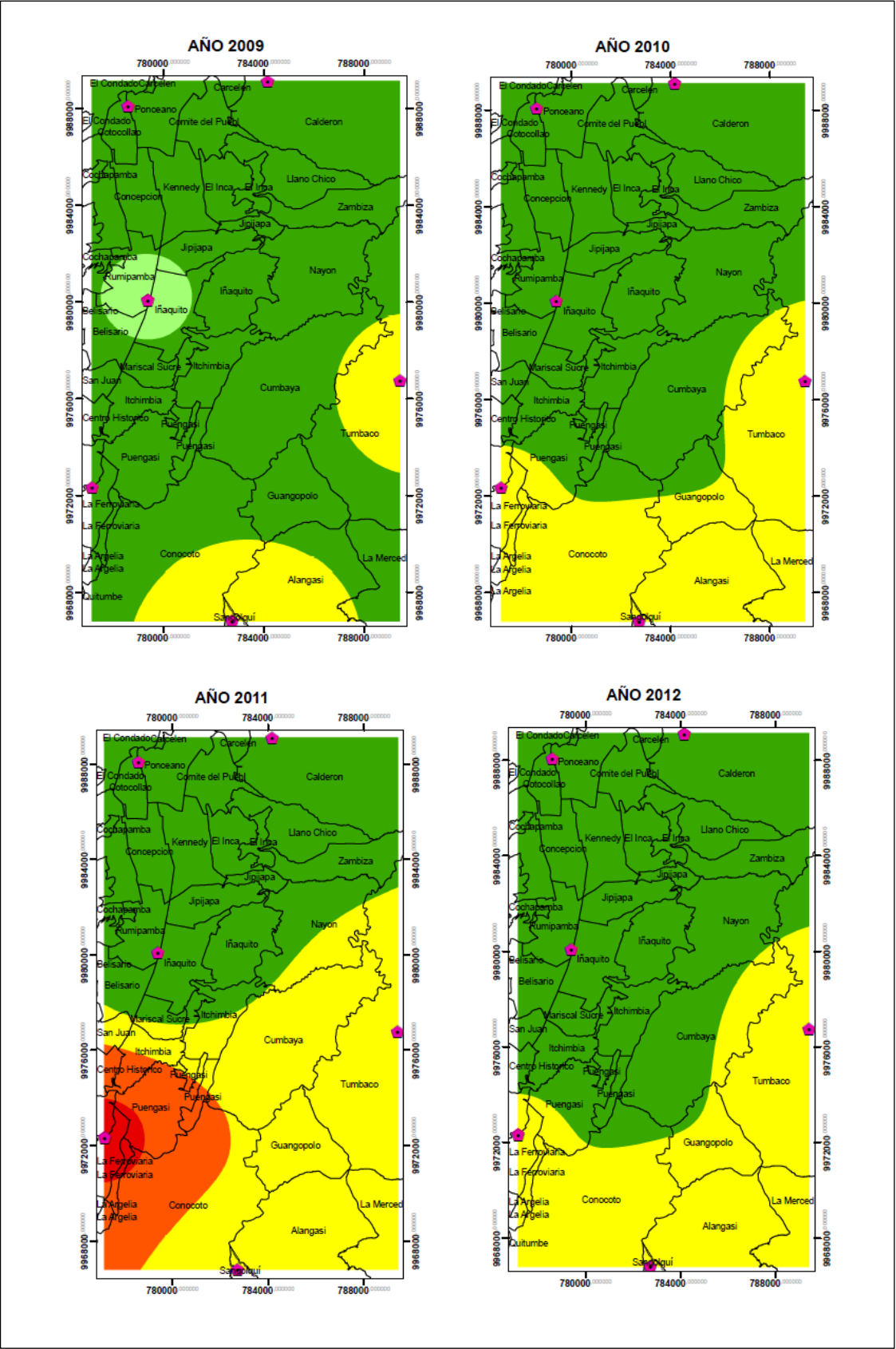


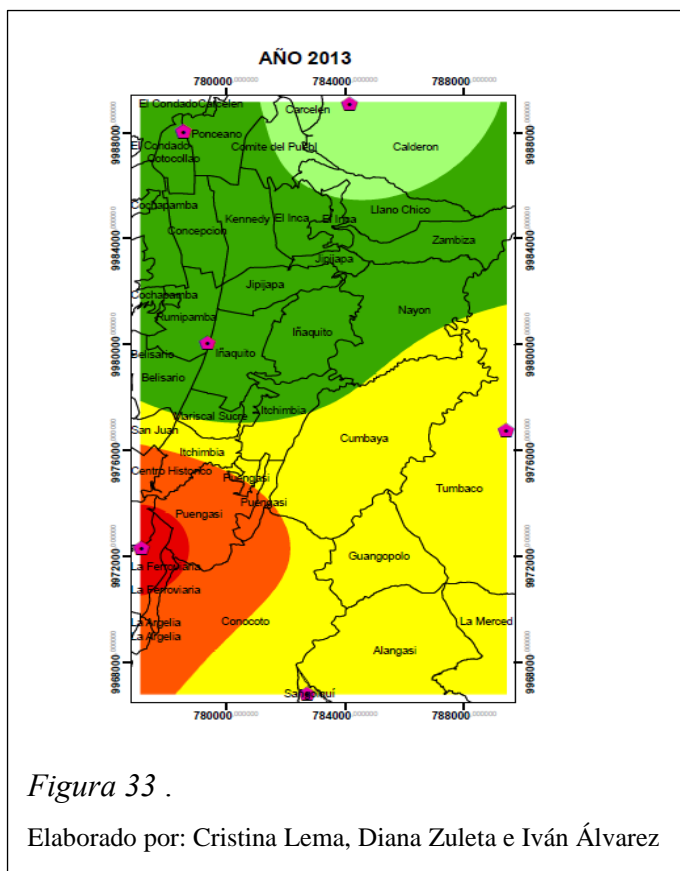
de la ciudad vs. el norte, debido a la mayor altitud de la zona austral. Sin embargo y coincidiendo con el análisis de correlación del capítulo 6. Los valores máximos de radiación solar se correlacionan significativamente con los valores máximos de temperatura, que son mayores en los valles.

5.6 Análisis de los valores promedios anuales

Posteriormente se presentan los mapas promediados a nivel anual (figura 33), en donde se realizó el promedio de los valores de radiación solar para cada año de estudio que van desde 2007 hasta 2013.







En la figura 33 se presenta los valores promedios anuales de la radiación registrada en cada estación. Se aprecia cómo existe una evolución de los niveles de alerta de bajo a alto, desde los años 2007, en el que la alerta se mantenía en bajo y moderado, hasta el año 2013 donde los niveles promedios anuales llegan a alto y muy alto (El Camal).

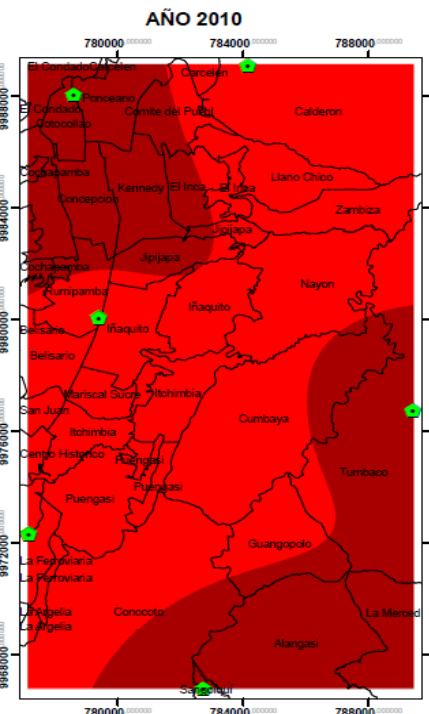
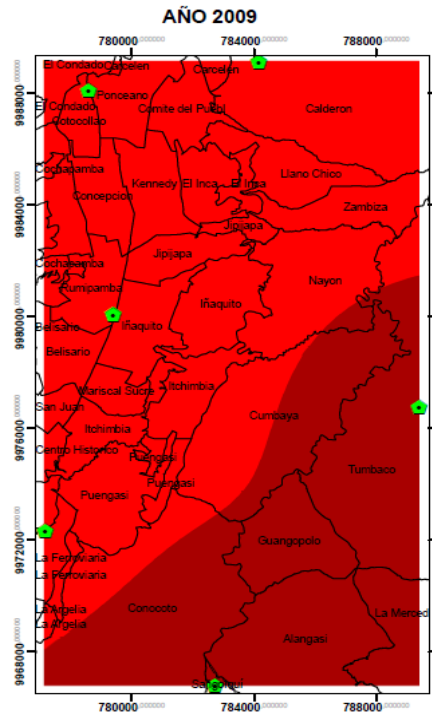
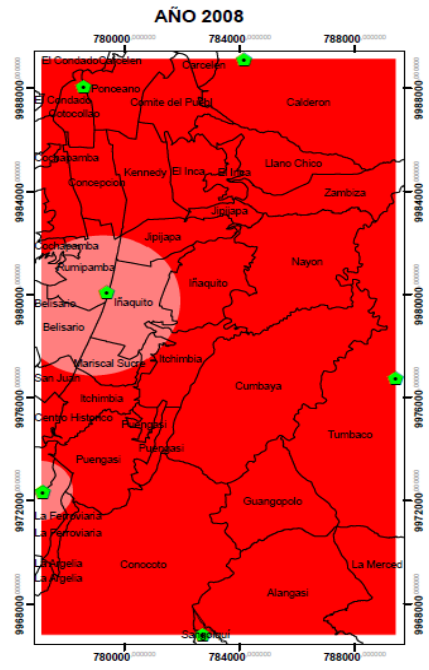
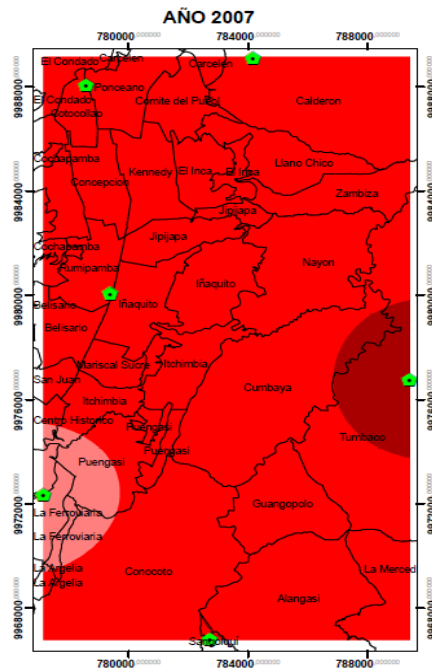
De la misma manera que en los comportamientos anteriores, la región sur tanto urbana como de los valles es más susceptible los niveles altos de radiación solar.

Además se observa que el comportamiento entre años es similar: 2007 y 2009, 2010 y 2012, 2011 y 2013.

5.7 Análisis de los valores máximos anuales

Para obtener la figura 34 se utilizaran los valores máximos registrados de radiación solar para cada año de estudio (2007-2013).

Valores máximos anuales



En la figura 34 se aprecia el incremento en la cantidad de radiación solar en las zonas de los valles desde el año 2009; los valles orientales de Tumbaco y Los Chillos, además del sector noroccidental de Quito, son los que experimentan los mayores valores de radiación. Es decir que al estudiar los valores extremos de radiación solar existe una correspondencia (mostrada en el capítulo 4).

De la misma manera, se aprecia que existe un incremento en las zonas afectadas a niveles superiores de radiación solar que se incrementa de 4.28% de alerta 12 (muy alta) en el 2007 a 38.11% de nivel 13 en el 2013. Cabe indicar que el año en el que se recibió radiación en un área más extensa fue el año de 2011.

CAPÍTULO 6

GEOPORTAL DEL SOLMÁFORO DE QUITO

6.1 Geoportal

“Un geoportal (ver figura 35) es un sitio web que permite el acceso y visualización de información geoespacial (geográfica), permitiendo a los usuarios realizar búsquedas de datos, que pueden ser de dominio público o disponibles a realizar cambios, a través de catálogos, frases, etc.” (Moya & Mullo, 2013).

“Los geoportales son importantes para el uso eficaz de los sistemas de información geográfica (SIG) y un elemento clave de la Infraestructura de Datos Espaciales” (Instituto Geográfico Militar, 2013).



El propósito de un geoportal es brindar a los usuarios el acceso a través de un navegador estándar a recursos y servicios basados en la información geográfica. Además permite el intercambio de información entre las diversas instituciones (Moya & Mullo, 2013).

6.2 Geoportal de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS)

El geoportal de la Universidad Politécnica Salesiana (ver figura 36) fue creada desde el 2010, en el Centro de Investigación de Modelamiento Ambiental CIMA-UPS con el objetivo de visibilizar las investigaciones y proyectos de alumnos y docentes de todos los campus en un solo sitio web; de igual manera es una herramienta muy útil para brindar información a la comunidad y visibilizar los trabajos de investigación con herramientas intuitivas y de fácil acceso.

El geoportal de la comunidad salesiana necesita algunos requerimientos para un buen funcionamiento: contar con sistema operativo Linux, que tenga aplicaciones óptimas para servidores, en este caso Centos versión 5.9. Se utilizó una base de datos PostgreSQL versión 9.1.9, datos espaciales PostGIS versión 1.5, servidor web Apache Tomcat 6.0.32 y un lenguaje de desarrollo en Java 7.

Por otro lado, un “geoserver es un servidor web de código abierto, multiplataforma, que permite a los usuarios compartir y editar datos geoespaciales. Se diseña para la interoperabilidad y publicación de datos espaciales con estándares abiertos” (Instituto Geográfico Militar & Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013).

El geoportal consta de diferentes módulos:

- Módulo de visualización
- Módulo de gestión de datos geográficos
- Módulo de gestión de estilos
- Módulo de seguridad

(Cofre & Toledo, 2014)

Geoportal de la Universidad Politécnica Salesiana



Figura 36.

Fuente: (Universidad Politécnica Salesiana, 2015)

6.3 Metodología para el ingreso de información espacial en el geoportal del CIMA-UPS

Los datos obtenidos de radiación solar fueron agregados en el geoportal de la Universidad Politécnica Salesiana para ser visualizados, además de ser un medio de información para los usuarios e investigadores.

El algoritmo se describe a continuación:

- Los archivos .grid generados en ArcGis deben ser cambiados a formato .tiff en el mismo programa como lo indica la figura 37 y figura 38.

Creación del archivo .tiff en ArcGIS

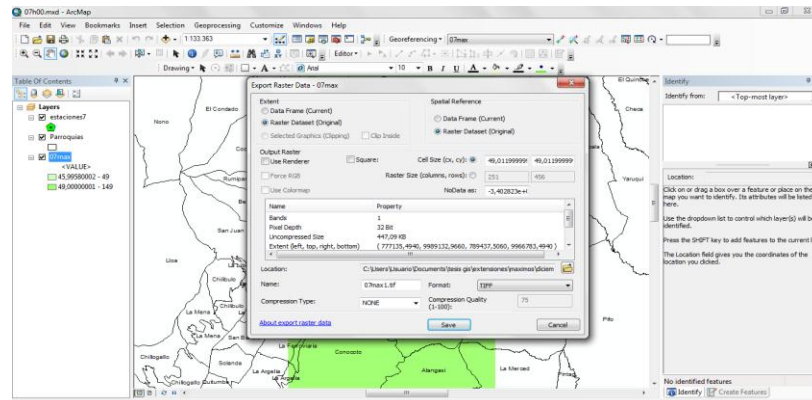


Figura 37.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- b) Todos los archivos en formato .tiff se suben al Geoserver desde un servidor permitido, donde se descomprimieron los archivos, y se copiaron en la carpeta de trabajo: [root@ide3 ~]# cp tiff.tar.gz Escritorio/solmaforo/, donde se encuentran almacenados.

Archivo .tiff

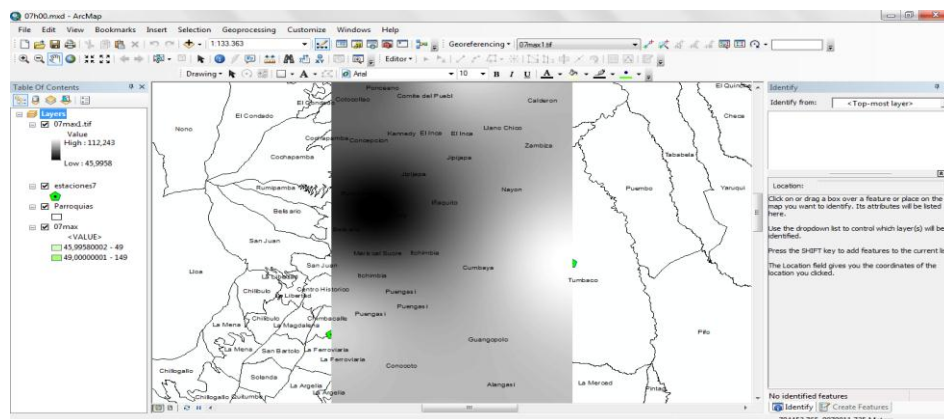


Figura 38.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- c) A continuación se procedió a crear en el geoserver un espacio de trabajo llamado solmáforo, donde se encuentran almacenados los archivos (ver figura 39).

Espacio de trabajo




Figura 39.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- d) Después se procede a crear un almacén de datos, dónde se van a cargar los archivos generados anteriormente. (Ver Figura 40)

Almacén de datos



Data Type	Espacio de trabajo	Nombre del almacén	Tipo	?Habilitado?
Ensayo		abrilis	GeoTIFF	✓
Ensayo		promedio	GeoTIFF	✓

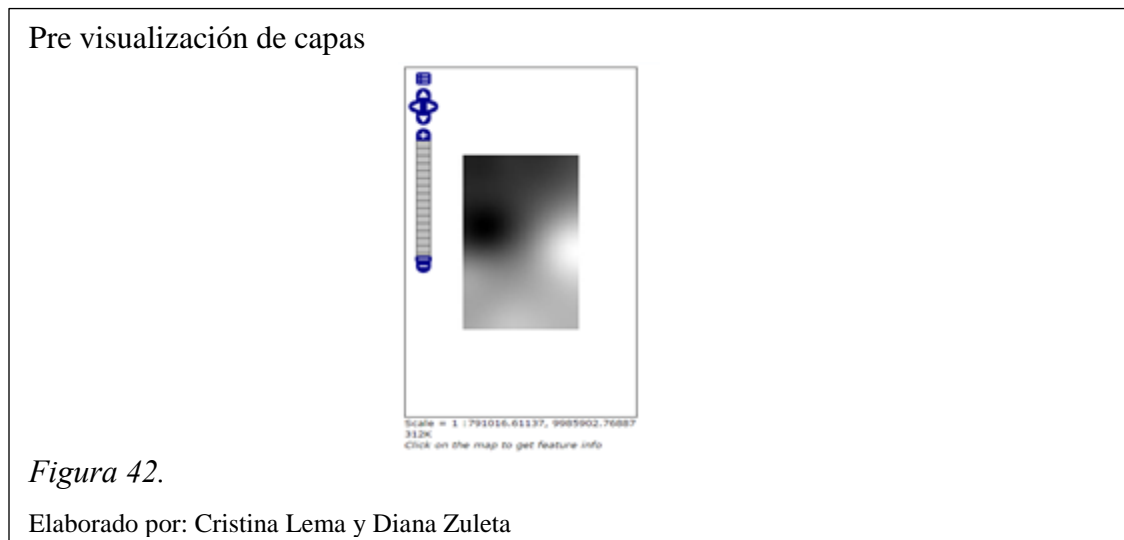
Figura 40.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- e) Se seleccionó el tipo de archivos a ser cargados, los cuales fueron geotiff para los archivos ráster, y tipo shapefiles para los archivos vectoriales. (ver figura 41).



- f) Una vez cargados los archivos, se verifica el sistema de coordenadas con el que se trabajó que es el WGS84 Zona 17 Sur y y son guardados automáticamente en el almacén de datos.
- g) Cuando se terminó de cargar todos los archivos (124 total) se verificó que se puedan visualizar. (ver figura 42).



- h) Como se observa en la figura 42, esta no cuenta con colores que permitan ver la intensidad de la radiación solar, por lo tanto se utilizó el programa AtlasStyler, que permite generar colores en archivos formato .tiff como se puede visualizar en la figura 43.

Capa con color en AtlasStyler

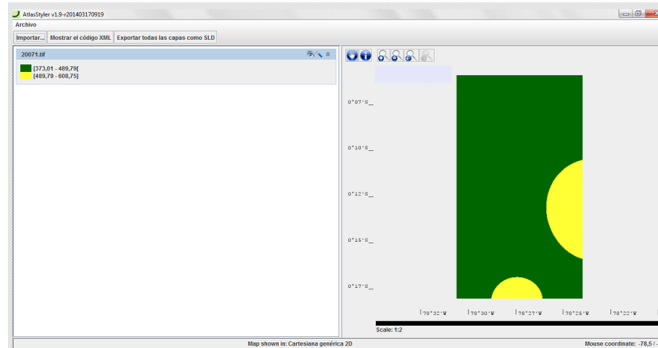


Figura 43.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- i) Para lograr que en el geoserver se tengan los colores, se debe copiar el código XML que genera el AtlasStyler (ver figura 44).

Código XML

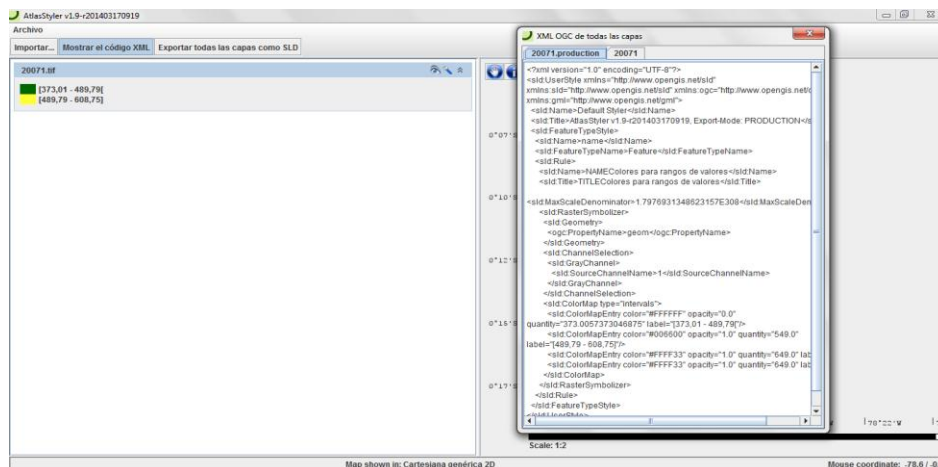


Figura 44 .

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- j) Con el código XML se creó varios estilos, los cuales se editaron en cada capa como se muestra en la figura 45.

Edición de capas

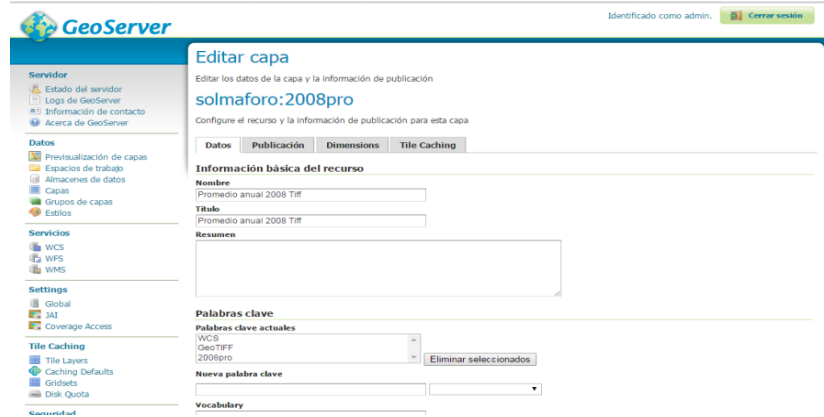


Figura 45.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

- k) Una vez realizados los cambios se vuelve a previsualizar las capas. (ver figura 46).

Previsualización de capas con colores

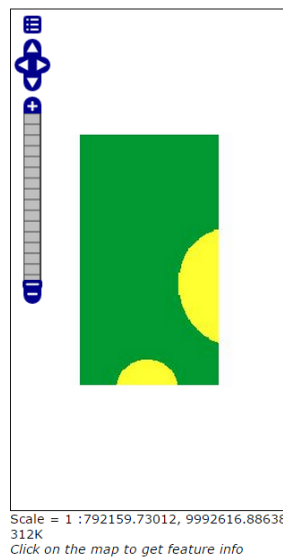


Figura 46.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

Mapa en el Geoportal

Scale = 1 : 792159.73012, 9992616.88638 312K
Click on the map to get feature info

Figura 47.

Elaborado por: Cristina Lema y Diana Zuleta

CONCLUSIONES

Quito en las horas centrales del día sobrepasa fácilmente los valores de radiación solar e IUV asociados, considerados como altos (IUV 8-10) y muy altos (IUV 10-13) según recomendaciones de la Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO) e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) para países latinoamericanos. La Organización Mundial de la Salud (OMS) tiene estándares más exigentes por la adaptabilidad y tipo de piel más sensible de habitantes Europeos y Norteamericanos. Al analizar el comportamiento promedio de la radiación se encontró que se llega a la alerta alta (IUV 8-10) y muy alta desde las 11h00 hasta las 14h00. Sin embargo al analizar los valores máximos, que se registran *ocasionalmente*, los niveles altos y muy altos se encuentran entre las 10h00 y 16h00. Es decir, que por los diversos factores atmosféricos: efecto lupa, cielo despejado, cambios en la distribución espacial del ozono, entre otros; se ocasionan incrementos puntuales con valores muy elevados de radiación solar, por lo que es importante estar protegido en un rango más largo de tiempo.

Aunque los niveles de radiación solar recibidos son proporcionales a la altura, se ha encontrado una fuerte correlación entre $r = 0.74$ y $r = 84$ entre la radiación solar máxima y temperatura máxima, este evento fue evidenciado especialmente en los Valles de Tumbaco y Los Chillos que son las estaciones más bajas y que presentan mayores valores de temperatura y temperatura máxima diaria.

Asimismo, los datos muestran un incremento temporal de la radiación solar con tendencias que oscilan entre 6.64 Watts/año y 16.53 Watts/año. Si este comportamiento permanece constante, en 10 años se podría tener un incremento en los valores máximos de radiación diaria de un 4% a 6%, sobre el territorio de Quito. Este incremento se ha registrado también en el análisis horario, lo cual quiere decir que los valores horarios registrados se incrementan año a año.

Del mismo modo, se evidenció que la influencia de los equinoccios de marzo (equinoccio de primavera, dado entre el 20 y 21 de marzo de cada año) y de septiembre (equinoccio de otoño, dado entre el 20 y 21 de septiembre), incrementa los niveles de radiación solar, generando así un comportamiento bimodal en los datos mensuales de radiación solar máxima. Cabe resaltar que el solsticio de verano no presenta un máximo en los datos registrados, a pesar de ser la temporada en la que más cielo despejado se presenta, a diferencia de los meses de marzo y septiembre, que son más bien lluviosos (Serrano et al. 2012).

Debido a la cantidad de datos históricos (6 años) y el número de estaciones meteorológicas en Quito, el método de interpolación que mejor se adaptó a estas condiciones es el Método de la Distancia Inversa (IDW), ya que muestra valores estimados aproximados a los datos originales en la zonas que carecen de estaciones, aunque se observan los llamados “ojos de buey” entorno a los puntos muestrales, al convertir a ráster la capa interpolada los valores estimados representan la realidad, en comparación con otros métodos de interpolación.

El análisis espacial muestra que el Sur de la ciudad, en promedio recibe más radiación que el norte, ya que éste se encuentra a mayor altitud, sin embargo, al estudiar los valores máximos se aprecia que las áreas más afectadas son aquellas más susceptibles a las altas temperaturas, es decir la zona de los Valles de Tumbaco y los Chillos. De la misma manera, se observa que el comportamiento temporal de los datos tanto para valores de radiación promedio como de máximos muestra que las áreas afectadas con valores altos y muy altos de radiación se incrementan año a año.

Por último, puesto que los valores de temperatura máxima que se encuentran en un sostenido incremento de 0.4°C/año (Serrano et al. 2012), son sensibles a los niveles de radiación solar máxima es importante tener en cuenta sus efectos sobre la salud en el contexto de los escenarios de cambio climático.

RECOMENDACIONES

Es importante que la comunidad quiteña y la gente que visita la ciudad sepa que no es recomendable exponerse por tiempo prolongado al sol durante las horas centrales del día: de 11h00 a 14h00, y que es mejor estar protegido contra los eventos ocasionales de radiación muy alta que se pueden dar entre las 10h00 y 16h00, a través de la utilización de crema bloqueadora de rayos UV, al menos de un factor SPF (factor de protección solar) 15 a 30 es adecuada para el tipo de piel preponderante en Latinoamérica (Benavides Ballesteros, 2010). Utilizar ropa de manga larga, gafas y gorra o sombrero.

Es importante recordar que las cremas bloqueadoras deben aplicarse de 5 a 15 minutos antes de exponerse al sol y aplicar en las zonas del cuerpo como la nariz, orejas, cuello y cualquier otra parte que no esté cubierta por la ropa. Para la latitud de Quito las horas de menor riesgo para realizar actividades en que se necesite estar al aire libre, son de ser hasta las 10:00 horas y después de las 14:00 horas. Si se encuentra ubicado cerca de un cuerpo de agua como piscina, río, lago o mar al aire libre, evite los reflejos solares del sol sobre el agua, la arena blanca y en general de superficies muy blancas puesto que es como si estuviera expuesto directamente a los rayos solares.

Debido a los efectos acumulativos que tiene la radiación solar sobre la piel y ojos y dado que el 60% de la radiación que recibimos en toda la vida, la recibimos en la infancia; y que la piel de los niños es muy delicada y suele quemarse rápidamente, quemaduras que de manera repetida, son un factor de riesgo para el cáncer de piel (Benavides Ballesteros, 2010). Es recomendable que las entidades Gubernamentales creen espacios cubiertos de recreación tanto en parques como en escuelas o cualquier otro espacio que sea frecuentado por menores.

Como otras líneas de investigación, sería recomendable poder contar con estudios que relacionen la actividad solar con la radiación registrada en tierra sobre Quito, así como el averiguar si los incrementos registrados de radiación han desencadenado más efectos sobre la salud de los quiteños.

Finalmente, estudios que visibilicen la sensibilidad de las ciudades a los factores ambientales son los que permitirán tomar medidas adecuadas para la reducción de la vulnerabilidad de la comunidad. Para lo cual se recomienda la implementación de más estaciones meteorológicas y más especializadas (espectrofotómetros) que monitoreen el comportamiento de la radiación solar y la radiación ultravioleta en el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), con el objetivo de dar un seguimiento más cercano a su comportamiento.

LISTA DE REFERENCIAS

- Almorox, J. A. (16 de 04 de 2010). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de <http://ocw.upm.es/ingenieria-agroforestal/climatologia-aplicada-a-la-ingenieria-y-medioambiente/contenidos/tema-3/RADIACION-SOLAR-EXTRATERRESTRE.pdf>
- Benavides Ballesteros, H. O. (2010). *IDEAM*. Obtenido de <http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/atmosfera/indice-uv/nota-tecnica-indice-uv.pdf>
- Astromía*. (s.f.). Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de <http://www.astromia.com/solar/estrucsol.htm>
- Badescu, V. (2008). *Modeling Solar Radiation*. Bucharest: Springer. Obtenido de http://www.aemet.es/documentos/es/eltiempo/observacion/radiacion/Radiacion_Solar.pdf
- Biospherical Instruments Inc.* (9 de Julio de 2012). Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de http://www.biospherical.com/index.php?option=com_content&view=article&id=46:microradiometersthe-heart-of-osprey-instrument-classes&catid=35:product-descriptions&Itemid=126
- Blesa, M. A. (2009). *psa*. Obtenido de https://www.psa.es/webesp/projects/solarsafewater/documents/libro/07_Capitulo_07.pdf
- Cañarte, C. (2011). *FUNDACION ECUATORIANA DE LA PSORIASIS (FEPSO)*. Quito.
- Castejón, A., & Santamaría, G. (2010). *Instalaciones Solares Foltovoltaicas*. Editex.
- Cofre, V. H., & Toledo, S. P. (2014). *UPS*. Recuperado el 01 de 12 de 2014, de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6835/1/UPS-ST001167.pdf>
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas, & Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial. (1987). *Introducción a los sensores*. Alcalá: Alcalá de Henares Artes Gráficas S.A.
- De la Casinière Chiron, A., & Cachorro Revilla, V. (2008). *LA RADIACIÓN SOLAR En el Sistema Tierra-Atmosfera*. Paris: Publibook.
- Direct Usine*. (2013). Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de http://www.directusine-mesure.fr/de/-xml-243_603-3472.html
- Escamilla Canales, R. (6 de 2010). <http://upcommons.upc.edu/>. Recuperado el 2015, de http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9992/1/PFC_Raul_Escamilla.pdf
- Escudero Lopez, J. M. (2003). *Manual de energía eólica*. Madrid: mundiprensa.
- Font Tullot, I. (2007). *Climatología de España y Portugal*. España: Salamanca.

Franco, C. A. (25 de 04 de 2008). *ocwus*. Recuperado el 19 de 11 de 2014, de http://ocwus.us.es/arquitectura-e-ingenieria/operaciones-basicas/contenidos1/tema9/pagina_02.htm.

González, D., & Bosque, J. (2008). *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*. Recuperado el 02 de 12 de 2014, de <http://www.boletinage.com/47/03-GONZALEZ.pdf>

Guerrero, M. (Agosto de 2012). *Evidencias de Anomalías en el actual ciclo solar 24*. <http://www.meteolobios.es/solar.htm>. (2013). *MeteoLobios*. Obtenido de <http://www.meteolobios.es/solar.htm>

Indice de Calidad del Aire . (2013). Obtenido de <http://190.152.144.74/>

Ingeco Z.S. (s.f.). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://www.ingecozs.com/>

Instituto Geográfico Militar, I. (2013). *Intituto Geográfico Militar*. Recuperado el 01 de 12 de 2014, de <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/>

Instituto Metereológico Nacional. (2009). Obtenido de <http://www.imn.ac.cr/educacion/UV/UVB1.html>

Intituto Geográfico Militar, I., & Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, S. (2013). *Geoportal IGM*. Recuperado el 01 de 12 de 2014, de http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/?wpfb_dl=25

IPCC. (2014). *4to Reporte. Bases físicas del Cambio Climático*.

Kipp & Zonen. (s.f.). Recuperado el 15 de Marzo de 2015, de <http://www.kippzonen.es/Product/213/CMP-3-Piranometro>

Kipp & Zonen. (2010). Kipp & Zonen. *Manual de Usuario*. Holanda. *Laboratorio de Física de la Atmósfera*. (30 de 9 de 2012). Obtenido de <http://www.lfabolivia.org/?p=1025>

Miranda, J., Sebastián, J., Sierra, M., & Margineda, J. (2002). *Ingeniería de Microondas. Técnicas Experimentales*. Madrid: Pearson Educación S.A.

Moya, A., & Mullo, F. (Mayo de 2013). <http://dspace.ups.edu.ec/>. Obtenido de <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/4905/1/UPS-ST000992.pdf>

Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J. D., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). <http://web.usbmed.edu.co/>. Recuperado el Diciembre de 2014, de <http://web.usbmed.edu.co/usbmed/fing/v3n1/v3n1a7.pdf>

Nahle, N. S. (2006). *Biology Cabinet*. Obtenido de http://www.biocab.org/Temperature_and_Solar_Radiation_Spanish.html

National Aeronautics and Space Administration. (4 de Marzo de 2015). Recuperado el 18 de Marzo de 2015, de <http://solarscience.msfc.nasa.gov/images/Cycle22Cycle23Cycle24big.gif>

Organización Mundial de la Salud. (2003). Obtenido de <http://www.who.int/uv/publications/en/uvispa.pdf>

Patterson, G., & Sobral, M. (5 de Diciembre de 2007). *Efecto Peltier*. Buenos Aires, Argentina.

Pérez García , E. (2006). *astronomos*. Obtenido de <http://www.astronomos.org/articulistas/Polaris/2006/11--Estaciones.pdf>

Pesquer, L., Masó, J., & Pons, X. (2006). <http://www.creaf.uab.es/>. Recuperado el 01 de 12 de 2014, de <http://www.creaf.uab.es/miramon/publicat/papers/CNTIG06/085%20-%20Pesquer.pdf>

Pettazi, A., & Souto González, J. (s.f.). *Medidas operativas derivadas de un radiómetro GUV 2511 multirango*. España.

REMMAQ. (2013). Obtenido de <http://190.152.144.74/>

Salazar , C. H. (2010). *marn*. Obtenido de http://www.marn.gob.sv/index.php?option=com_phocadownload&view=category&download=221:la-radiacin-ultravioleta-y-el-ndice-de-radiacin-ultravioleta&id=10.

Santamaría, G., & Castejón, A. (2010). *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Editex.

Serrano et al. (2012). ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS. *La Granja*, 25.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. (2015). Obtenido de <http://www.senamhi.gob.pe/?p=1003>

SOLCA. (2010). Obtenido de <http://www.solcaquito.org.ec/index.php/en/el-cancer/tipos-de-cancer/cancer-de-prostata>

Thies Clima. (s.f.). Recuperado el 16 de Marzo de 2015, de http://www.thiesclima.com/electrical_transmitters.html#TemperatureSensorcompact

Varo Martínez, M. (2006). *Modelización de la Radiación Ultravioleta Solar*. Córdoba. Obtenido de via.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/283/13918643.pdf?sequence=1

Zambrano, B. (2010). Quito's climate change strategy: A response to climatic change at the metropolitan district of Quito , Ecuador. . *La Granja* , 47.

ANEXOS

Anexo 1. EVENTOS EXTREMOS DE RADIACIÓN SOLAR EN QUITO: RELACIÓN CON EL ÍNDICE ULTRAVIOLETA, LA TEMPERATURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Zuleta Diana, Lema Cristina, Álvarez Mendoza César Iván, Gustavo Navas y Serrano

Vincenti Sheila

Centro de Investigación en Modelamiento Ambiental CIMA-UPS/ Universidad
Politécnica Salesiana, Quito, ECUADOR.

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue determinar el impacto que ha tenido la radiación solar sobre Quito y su relación con la temperatura. De esta manera, se ha realizado un análisis estadístico sobre 7 años de datos proporcionados por la REMMAQ (Red Metropolitana de Monitoreo atmosférico de Quito), tomados de 6 estaciones meteorológicas ubicadas a lo largo de la ciudad. El análisis se realizó a nivel horario, diario, mensual y anual; y se buscó detectar la frecuencia, intensidad y posibles cambios en el comportamiento de la radiación solar y la temperatura. Asimismo, se presenta un estudio geográfico de espacialización de los datos de radiación ultravioleta a partir de datos de radiación solar global. Estos datos se incluyeron dentro de un programa para el análisis de los cinco tipos de alerta por exposición a la radiación ultravioleta recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS): Verde: Baja, Amarilla: Moderada, Naranja: Alta, Roja: Muy Alta y Púrpura: Extrema. Los resultados muestran que los rangos de radiación solar establecidos como permisibles y extremos por la OMS son superados frecuentemente en Quito por lo tanto el estudio utilizó la tabla recomendada por la Federación Ecuatoriana de la Psoriasis (FEPSO) y el Instituto de Física Rosario de Argentina (IFIR), y que su relación con posibles incrementos en eventos extremos de temperatura, ocasionados por el cambio climático, podrían aumentar el nivel de exposición a la radiación solar en Quito.